

Школа Инженерная школа ядерных технологий  
 Направление подготовки 03.03.02 «Физика»  
 Отделение школы (НОЦ) Экспериментальной физики  
**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
<b>Моделирование реакции некогерентного фоторождения нейтральных пионов на дейтронах в кинематической области эксперимента на установке ДЕЙТРОН</b>
УДК <u>539.126.341.7.001.5</u>

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0Б51	Карпенко Екатерина Сергеевна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОЭФ ИЯТШ	Лидер Андрей Маркович	д.т.н., доцент		

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Научный сотрудник ИШФВП	Гаузштейн Вячеслав Валерьевич	к.ф.-м.н.		

### КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Конотопский Владимир Юрьевич	к.э.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ООД ШБИП	Скачкова Лариса Александровна			

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель отделения ЭФ ИЯТШ	Лидер Андрей Маркович	д.т.н., доцент		

## Запланированные результаты обучения по программе

Код результата	Результат обучения (выпускник способен)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Общекультурные компетенции</i>		
<b>P1</b>	Использовать основные этапы и закономерности исторического развития общества, основы философских, экономических, правовых знаний для формирования мировоззренческой, гражданской позиций и использования в различных сферах жизнедеятельности	Требования ФГОСЗ+ (ОК-1, ОК-2, ОК-3, ОК-4)
<b>P2</b>	К самоорганизации и самообразованию, работать в коллективе, к коммуникации в устной и письменной формах, в том числе на иностранном языке, толерантно воспринимать социальные, этические и культурные различия, использовать методы и средства физической культуры, приёмы первой помощи и методы защиты в условиях ЧС.	Требования ФГОСЗ+ (ОК-5, ОК-6, ОК-7, ОК-8, ОК-9)
<i>Общепрофессиональные компетенции</i>		
<b>P3</b>	Использовать в профессиональной деятельности базовые естественнонаучные знания, современные концепции и ограничения естественных наук, использовать фундаментальные знания разделов общей и теоретической физики, математики для создания моделей и решения типовых профессиональных задач, в том числе с использованием знаний профессионального иностранного языка.	Требования ФГОСЗ+ (ОПК-1, ОПК-2, ОПК-3, ОПК-7)
<b>P4</b>	Понимать сущность и значение информации, соблюдать основные требования информационной безопасности, использовать методы, способы, средства получения и хранения информации, решать стандартные задачи на основе информационной и библиографической культуры.	Требования ФГОСЗ+ (ОПК-4, ОПК-5, ОПК-6)
<b>P5</b>	Получить организационно-управленческие навыки при работе в научных группах, критически переосмысливать накопленный опыт, изменять при необходимости профиль своей профессиональной деятельности, нести ответственность за последствия своей инженерной деятельности.	Требования ФГОСЗ+ (ОПК-8, ОПК-9)
<i>Профессиональные компетенции</i>		
<b>P6</b>	<u>Научно-исследовательская деятельность</u> Проводить научные теоретические и экспериментальные исследования в областях: материаловедения, атомной и ядерной физики, водородной энергетики, физики плазмы с помощью современной приборной базы с использованием специализированных знаний физики и освоенных профильных дисциплин.	Требования ФГОСЗ+ (ПК-1, ПК-2)
<b>P7</b>	<u>Научно-инновационная деятельность</u> Применять на практике профессиональные знания теории и методов физических исследований, а также	Требования ФГОСЗ+

	профессиональные знания и умения в результате освоения профильных дисциплин для проведения физических исследований в инновационных областях науки, используя современные методы обработки, анализа и синтеза информации.	(ПК-3, ПК-4, ПК-5)
<b>P8</b>	<u>Организационно-управленческая</u> Использовать на практике теоретические основы организации и планирования физических исследований, участвовать в подготовке и составлении научной документации по установленной форме, понимать и применять на практике методы управления в сфере природопользования	Требования ФГОС3+ (ПК-6, ПК-7, ПК-8)
<b>P9</b>	<u>Педагогически-просветительская</u> Проектировать, организовывать, анализировать педагогическую деятельность, владеть последовательностью изложения материала с использованием междисциплинарных связей физики с другими дисциплинами, участвовать в информационно-образовательных мероприятиях по пропаганде и распространению научных знаний	Требования ФГОС3+ (ПК-9)

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 федеральное государственное автономное  
 образовательное учреждение высшего образования  
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа ядерных технологий  
 Направление подготовки (специальность) 03.03.02 «Физика»  
 Отделение школы (НОЦ) Экспериментальной физики

УТВЕРЖДАЮ:  
 Руководитель ООП  
 \_\_\_\_\_ Лидер А.М  
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

### ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
0Б51	Карпенко Екатерине Сергеевне

Тема работы:

Моделирование реакции некогерентного фоторождения нейтральных пионов на дейтронах в кинематической области эксперимента на установке ДЕЙТРОН	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	07.05.2019 № 3562/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:

#### ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<b>Исходные данные к работе</b> <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	– Данные с экспериментов «ДЕЙТРОН» на ускорительно-накопительном комплексе ВЭПП-3, расчетная база на основе программного кода C++ с использованием программного обеспечения ROOT.
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b> <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	– Обзор литературных источников; – Кинематическое моделирование реакции некогерентного фоторождения нейтральных пионов на дейтронах; – Создание програмного кода для разыгрывания событий исследуемой реакции методом Монте-Карло; – Определение критерия идентификации для

	выделения событий реакции $\gamma d \rightarrow p n \pi^0$ из зарегистрированных $pn$ -совпадений – Социальная ответственность; – Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение; – Заключение.
<b>Перечень графического материала</b> (с точным указанием обязательных чертежей)	– Презентация

### Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
Социальная ответственность	Скачкова Лариса Александровна, старший преподаватель ООД ШБИП
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Конотопский Владимир Юрьевич, доцент ОСГН ШБИП

**Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:**

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал руководитель консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Научный сотрудник ИШФВП	Гауштейн Вячеслав Валерьевич	к.ф.-м.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0Б51	Карпенко Екатерина Сергеевна		

# ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
0Б51	Карпенко Екатерине Сергеевне

Школа	ИЯТШ	Отделение школы (НОЦ)	Экспериментальной физики
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	03.03.02 Физика

## Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Принять по действующим ценам
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	-
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Социальный налог – 30%; НДС – 20%

## Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	-
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Составление календарного плана исследования. Определение бюджета НИР
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Выполнить

## Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Матрица SWOT
3. Альтернативы проведения НИ
4. График проведения и бюджет НИ
5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ - выполнить

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Конотопский Владимир Юрьевич	к.э.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0Б51	Карпенко Екатерина Сергеевна		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
0Б51	Карпенко Екатерине Сергеевне

Школа	ИЯТШ	Отделение (НОЦ)	Экспериментальной физики
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	03.03.02. Физика

Тема ВКР:

Моделирование реакции некогерентного фоторождения нейтральных пионов на дейтронах в кинематической области эксперимента на установке ДЕЙТРОН

**Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:**

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения

Объектом исследования является моделирование кинематики ядерных реакций. Моделирование происходит на ПЭВМ на операционной системе Linux. Кинематическое моделирование ядерных реакций с помощью статистических методов широко используется при планировании и проведении экспериментов в области физики высоких энергий. Это обусловлено тем, что статистическое моделирование ядерных реакций позволяет определить оптимальное расположение детектирующей аппаратуры и предварительно оценить выход исследуемой реакции. Кроме того, моделирование позволяет предварительно оценить вклад фоновых событий в измеренные экспериментальные выходы исследуемой реакции

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

**1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:**

- специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;
- организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.

Документы по воздействию ПЭВМ:  
 – инструкция ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.;  
 – ГОСТ 22269-76. Система «человек-машина». Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования.  
 – ГОСТ Р 50923-96. Дисплей. Рабочее место оператора. Общие эргономические требования и требования к производственной среде. Методы измерения.

	– СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы.
<b>2. Производственная безопасность:</b> 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	Опасные факторы производственной среды: – электрический ток; – пожарная безопасность. Вредные факторы производственной среды: – микроклимат; – шум; – вибрация; – электромагнитное поле; – излучение; – освещенность.
<b>3. Экологическая безопасность:</b>	– токсичное сырье, используемое в сборке компьютеров.
<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>	– единственная ЧС, которую может создать компьютер - это пожар.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ООД ШБИП	Скачкова Лариса Александровна			

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0Б51	Карпенко Екатерина Сергеевна		



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 федеральное государственное автономное  
 образовательное учреждение высшего образования  
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Уровень образования бакалавриат

Направление подготовки 03.03.02 «Физика»

Отделение школы (НОЦ) Экспериментальной физики

Период выполнения \_\_\_\_\_

Форма представления работы:

бакалаврская работа
(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

### КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
01.03.2019	Аналитический обзор литературы	15
20.03.2019	Кинематическое моделирование реакции некогерентного фоторождения нейтральных пионов на дейтронах	15
15.04.2019	Определение критерия идентификации для выделения событий реакции $\gamma d \rightarrow pn\pi^0$ из зарегистрированных $pn$ -совпадений	20
30.04.2019	Анализ результатов	15
14.05.2019	Социальная ответственность	15
20.05.2019	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	15
24.05.2019	Заключение	5

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Научный сотрудник ИШФВП	Гауштейн Вячеслав Валерьевич	к.ф.-м.н.		

**СОГЛАСОВАНО:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель отделения ЭФ ИЯТШ	Лидер Андрей Маркович	д.т.н., доцент		

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 74 с., 5 рис., 11 табл., 40 источников.

Ключевые слова: фоторождение нейтральных пионов, фотон, пион, нуклон, дейтрон.

Объектом исследования является эксперимент «ДЕЙТРОН» на ускорительно-накопительном комплексе ВЭПП-3 ИЯФ СО РАН им. Г.И. Будкера с помощью кинематического моделирования.

Цель работы – определить возможность выделения событий реакции  $\gamma d \rightarrow pn\pi^0$  из зарегистрированных  $pn$ -совпадений в эксперименте «ДЕЙТРОН».

В процессе исследования создан программный код для разыгрывания событий реакции фоторождения нейтрального пиона на дейтроне методом Монте-Карло, определен критерий идентификации, позволяющий выделить события реакции  $\gamma d \rightarrow pn\pi^0$  из зарегистрированных  $pn$ -совпадений. Также была оценена финансовая составляющая работы и описана социальная ответственность, связанная с выполнением данной работы.

Область применения: ядерная физика.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	14
1 Ядерные реакции .....	16
1.1 Открытие первой ядерной реакции .....	16
1.2 Открытие фотоядерных реакций .....	16
1.3 Современное изучение фоторасщепления дейтрона .....	18
2 Постановка эксперимента .....	23
3 Моделирование реакции фоторождения пиона .....	26
3.1 Связь электро- и фоторождения $\pi$ -мезонов на дейтроне .....	26
3.2 Моделирование реакции электророждения пиона .....	26
3.3 Поэтапное моделирование процессов реакции электророждения пиона...	29
3.3.1 Моделирование процесса первого этапа реакции .....	29
3.3.2 Моделирование процесса второго этапа реакции .....	31
3.3.3 Моделирование процесса третьего этапа реакции .....	33
3.4 Переданный импульс $q$ .....	35
4 Результаты моделирования .....	37
5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережени .....	40
5.1 Организация и планирование работ .....	40
5.1.1 Продолжительность этапов работ .....	41
5.1.2 Расчет накопления готовности проекта .....	46
5.1.3 Расчет сметы на выполнение проекта .....	47
5.1.4 Расчет затрат на материалы .....	47
5.1.5 Расчет заработной платы .....	48
5.1.6 Расчет затрат на социальный налог .....	49

5.1.7 Расчет затрат на электроэнергию .....	49
5.1.8 Расчет амортизационных расходов .....	50
5.1.9 Расчет прочих расходов .....	51
5.1.10 Расчет общей себестоимости разработки .....	52
5.1.11 Расчет прибыли .....	52
5.1.12 Расчет НДС .....	52
5.1.13 Цена разработки ВКР .....	52
5.1.14 Оценка экономической эффективности проекта .....	53
6 Социальная ответственность .....	54
Введение .....	54
6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	55
6.1.1 Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства .....	55
6.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя .....	55
6.2 Профессиональная социальная безопасность .....	58
6.2.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов .....	59
6.3 Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней опасного и вредного воздействия и устранению их влияния при работе на ПЭВМ .....	60
6.3.1 Организационные мероприятия .....	60
6.4 Условия безопасной работы .....	61
6.4.1 Электробезопасность .....	63
6.4.2 Пожарная и взрывная безопасность .....	64
6.4.3 Экологическая безопасность .....	66
6.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....	67

Выводы .....	69
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....	71

## ВВЕДЕНИЕ

Исследования в области ядерной физики играют важную фундаментальную роль в понимании устройства мира. Цель данных исследований состоит в получении информации о структуре ядра атома. Получить эту информацию становится возможным благодаря анализу распределений частиц-продуктов (распределения углов, энергии, импульсов и др.). Также её можно получить при помощи анализа вероятности ядерных взаимодействий с частицами и благодаря исследованию энергии возбуждения конечного ядра и каналов его распада, исследования которых проводятся при изменении энергии налетающих частиц.

Стандартная модель взаимодействия частиц позволяет выполнить расчеты дифференциальных сечений реакций с участием сильных, слабых и электромагнитных взаимодействий. Однако в общем случае расчеты динамики высокоэнергетических процессов являются чрезвычайно сложными. Поэтому важно найти такие особенности превращений элементарных частиц, которые не зависят от конкретного динамического механизма. Для этого нужно опереться на законы, заслуживающие безусловного доверия, и постараться чисто логически найти следствия из них. Этим следствиям мы будем вправе доверять столько же безоговорочно, как и самим законам. К числу таких законов можно отнести сохранение энергии, импульса, момента количества движения и постулаты квантовой механики.

В этой связи кинематическое моделирование ядерных реакций с помощью статистических методов широко используется при планировании и проведении экспериментов в области физики высоких энергий. Это обусловлено тем, что статистическое моделирование ядерных реакций позволяет определить оптимальное расположение детектирующей аппаратуры и предварительно оценить выход исследуемой реакции. Кроме того, моделирование позволяет предварительно оценить вклад фоновых событий в измеренные экспериментальные выходы исследуемой реакции.

Цель данной работы:

– определить возможность выделения событий реакции  $\gamma d \rightarrow pn\pi^0$  из зарегистрированных  $pn$ -совпадений.

Для достижения данной цели требуется выполнить ряд задач:

- освоить моделирование кинематики распада частиц;
- создать программный код для разыгрывания событий реакции  $\gamma d \rightarrow pn\pi^0$  методом Монте-Карло;
- получить критерий идентификации для выделения событий реакции  $\gamma d \rightarrow pn\pi^0$  из зарегистрированных  $pn$ -совпадений.

## 1 Ядерные реакции

### 1.1 Открытие первой ядерной реакции

Изучение ядерных реакций дает возможность получить представления о структуре ядер. На две частицы (два ядра или ядро и элементарная частица, например, нуклон) действуют ядерные силы, благодаря которым, при сближении на расстояния порядка  $10^{-13}$  см, между частицами возникает интенсивное ядерное взаимодействие, приводящее к преобразованию ядра. Данный процесс и является ядерной реакцией. В ядерных реакциях совершается процесс энергетического и импульсного перераспределения для обеих частиц, после чего происходит образование нескольких других частиц, которые вылетают из области взаимодействия. Возможно совершение процесса, называемого рассеянием, если не изменяются исходные ядра и частицы после столкновения, а также не происходит появления новых частиц.

Впервые ядерную реакцию наблюдал Резерфорд в 1919 году, когда проводил опыты по обнаружению протонов в продуктах распада ядер [1]. Атомы азота бомбардировались альфа-частицами, и когда частицы соударялись, происходила ядерная реакция. Ее представление показано ниже (формула 1). Также данную реакцию можно записать в более компактном виде:  $^{14}\text{N}(\text{He}, \text{H})^{17}\text{O}$ .



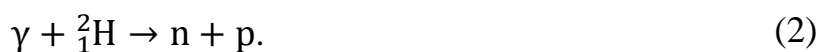
С помощью этого открытия были расширены возможности исследования атомных ядер: теперь на них можно было воздействовать искусственным способом, а также стало доступным превращение атомов одного вида в атомы другого вида искусственным способом.

### 1.2 Открытие фотоядерных реакций



Известно много реакций, характеризующихся разным типом. Эти реакции можно классифицировать в соответствии с частицами, с помощью воздействий которых можно вызвать реакцию. Исходя из этого, реакции могут происходить благодаря действию заряженных частиц, нейтронов,  $\gamma$ -квантов, которые представляют интерес для настоящей работы. Процесс взаимодействия ядер с  $\gamma$ -квантами также является ядерным, потому что его действие попадает в ядерную область, приводя к её преобразованию, несмотря на то, что происходит благодаря электромагнитному взаимодействию. Электромагнитное поле с достаточно хорошо изученными свойствами вызывает ядерные реакции. При этом механизм передачи энергии для данных реакций, а именно, от налетающего  $\gamma$ -кванта исследуемому ядру, известен точно. Структурные эффекты ядер в таких реакциях значительно удобнее отделить от механизмов возбуждения, нежели в реакциях при участии нейтронов и заряженных частиц.

Ядерные реакции под действием  $\gamma$ -квантов называют фотоядерными реакциями.  $\gamma$ -кванты могут испускаться атомными ядрами, следовательно, их поглощение ядрами может происходить с такой же вероятностью. Существуют такие реакции, которые могут служить в качестве примера фотоядерных реакций:  $(\gamma, n)$  и  $(\gamma, p)$ . Ядра, которые состоят из нескольких нуклонов (нуклон – единое название протона и нейтрона), могут поглощать или испускать фотоны в той же степени, что и атомы. Явление поглощения кванта энергии является долгоживущим и сопровождается увеличением ядерной энергии. Это состояние обладает теми же свойствами, что и составное ядро. Составное ядро может распадаться двумя способами. В первом случае, когда энергия возбуждения будет превышать энергию связи одного из нуклонов, будет происходить ядерная реакция, то есть вылет нуклона из ядра. Во втором случае, когда энергия связи нуклона будет выше, нежели энергия возбуждения ядра, будет испускаться  $\gamma$ -квант. Гольдхабер и Чедвиг в 1934 году провели первую фотоядерную реакцию [2]:



Данная реакция получила название реакции фоторасщепления дейтрона. Дейтрон не имеет возбужденных состояний, поэтому образования составного ядра в реакции не наблюдается.

### **1.3 Современное изучение фоторасщепления дейтрона**

На ускорительно-накопительном комплексе ВЭПП-3 в Институте ядерной физики СО РАН им. Будкера уже более 30 лет ведутся эксперименты по измерению поляризационных наблюдаемых в реакциях фоторождения пионов на дейтронах. Поляризационные наблюдаемые – это множество различных комбинаций мнимых и действительных частей амплитуды в квадратичной форме. Установка содержит внутреннюю газовую мишень, на которой проводятся данные эксперименты. Газовая мишень состоит из газовой струи дейтерия или водорода, обладающей высочайшей интенсивностью, которая вводится внутрь вакуумной камеры накопителя. Ядерно-физические эксперименты с поляризованной газовой мишенью в наше время невозможно осуществить ни на одном другом циклическом ускорителе. Данные эксперименты позволяют получить уникальную информацию о свойствах и структуре протона [3].

Дейтрон – это ядро изотопа водорода – дейтерия, с атомной массой, равной 2. Дейтрон является простейшим составным ядром, с помощью которого можно исследовать ядерные силы. Состоит дейтрон из двух нуклонов (протона и нейтрона), поэтому его изучение дает возможность получить детальную информацию о нуклон-нуклонном взаимодействии.

В экспериментах, проведенных на установке ВЭПП-3, рассматриваются различные каналы реакции, которые характеризуют различные пути перехода атомов в невозбужденное (основное) состояние. Каналы реакций фоторождения пионов на дейтронах можно разделить на два вида: когерентное рассеяние дейтрона, то есть дейтрон остается целым ядром после взаимодействия с фотонами, и некогерентное - дейтрон распадается на протон и нейтрон.

Изучение процессов взаимодействия пионов с ядрами атомов, а также с элементарными частицами, играет большую роль в понимании устройства элементарных частиц и определения ядерной структуры. Итак, пионы – это группа сильно взаимодействующих частиц (адронов), состоящая из трех нестабильных элементарных частиц. Различия в пи-мезонах определяются их электрическим зарядом. Пи-мезоны делятся на 3 группы, а именно положительно заряженные ( $\pi^+$ ), нейтральные ( $\pi^0$ ) и отрицательно заряженные ( $\pi^-$ ). В 1947 году были экспериментально обнаружены заряженные пионы ( $\pi^+$  и  $\pi^-$ ) группой исследователей, под руководством Сесила Фрэнка Пауэлла [4]. При помощи данного опыта была обнаружена независимость ядерных сил от заряда (два одинаковых нуклона, например, нейтроны или протоны, могут взаимодействовать друг с другом только благодаря обмену нейтральными пионами), благодаря чему было выявлено существование нейтральных пионов. Существование  $\pi^0$ -мезонов подтвердил эксперимент распада  $\gamma$ -квантов, проведенный в 1950 году. Их рождение создавалось при столкновении фотонов с протонами [4]. Процесс возникновения пи-мезонов (ядерных квантов), которые излучаются благодаря торможению нуклонов, т.е. при их соударении друг с другом, аналогичен процессу излучения фотонов (электромагнитных квантов), возникающих при торможении зарядов.

Главной целью проведенных экспериментов (на ускорительно-накопительном комплексе ВЭПП-3) является измерение компонент тензорной анализирующей способности фотореакций на дейтроне, в частности – процесса фоторождения нейтрального пиона на дейтроне. Актуальность экспериментального исследования тензорной анализирующей способности этого процесса объясняется следующим: полную информацию о реакции фоторождения  $\pi^0$ -мезона на дейтроне дает нам матрица рассеяния [5]. Информацию об этой матрице дают различные теоретические модели. Однако при расчете дифференциального сечения все модели дают близкие результаты, поскольку вклады от малых составляющих матрицы рассеяния очень малы, в сравнении с большими. Для измерения вклада от малых элементов матрицы

рассеяния требуется проводить измерения таких наблюдаемых, в которых этот вклад будет заметен. Такими наблюдаемыми и являются компоненты тензорной анализирующей способности.

Эксперимент по фоторасщеплению тензорно-поляризованного дейтрона был впервые проведен в 1988-1989 годах на ускорительно-накопительном комплексе ВЭПП-3, а полученные результаты были опубликованы в 1993 [6].

В работе [7] исследовалась реакция фоторождения отрицательно-заряженного пиона на тензорно-поляризованной дейтериевой мишени. Было измерено дифференциальное сечение этой реакции в диапазоне импульсов протонов 300–720 МэВ/с и углов появления протонов  $64\text{--}83^\circ$  для инвариантных масс системы  $pp$  в диапазоне от  $2m_p$  ( $m_p$  – масса протона) до 2220 МэВ/с<sup>2</sup>. Установлено, что измеренные значения сечения существенно отличаются от одночастичных модельных расчетов. Это расхождение увеличивается с массой системы  $pp$ .

По результатам эксперимента 1999 года, была сделана работа [8], в которой была измерена анализирующая способность реакции фоторождения отрицательных пионов в области  $\Delta(1232)$ -резонанса. Для реакции фоторождения  $\pi^-$ -мезона на дейтроне была измерена тензорная анализирующая способность  $T_{21}$ . Приведено сравнение экспериментальных результатов, не совпадающих с теоретическими расчетами. Предполагается, что данные расходятся потому, что в расчеты необходимо включить дополнительные механизмы возбуждения  $\Delta$ -резонанса.

Следующий эксперимент был проведен в 2002 году. По его результатам было проведено исследование компонент тензорной анализирующей способности реакции фоторождения  $\pi^-$ -мезона на дейтроне [9]. В работе продемонстрированы результаты одновременного измерения трех компонент тензорной анализирующей способности реакции  $\gamma d \rightarrow pp\pi^-$  с энергиями фотонов и протонов, варьирующимися в диапазоне 300 – 900 МэВ и 50 – 210 МэВ, соответственно. Теоретические расчёты для данных областей энергий фотонов и протонов хорошо описывают компоненту  $T_{21}$ . Приемлемые

теоретические расчёты компоненты  $T_{20}$  могут получиться лишь для энергий фотонов, превышающую значение в 500 МэВ, и когда масса в  $pp$ -подсистеме находится в диапазоне 2050 – 2100 МэВ. Также было проделано измерение компоненты  $T_{22}$ . Она имела сильное несоответствие результатов моделирования с данными эксперимента. Исходя из полученных данных для компонент  $T_{21}$ ,  $T_{20}$ ,  $T_{22}$ , можно сделать вывод, что помимо учета  $\pi N$ - и  $NN$ -взаимодействий при описании реакции  $\gamma d \rightarrow pp\pi^-$  на больших импульсах конечных фотонов, требуется учитывать более сложные механизмы, например,  $\Delta N$ -взаимодействие в некоторых промежуточных состояниях. Таким образом, изучение полученных результатов исследования позволяют определить эффект  $\Delta N$ -взаимодействия на фоне  $\pi N$ - и  $NN$ -взаимодействий.

Также по результатам эксперимента 2002 года была выполнена работа, в которой исследовалась кинематика реакции при больших импульсах протонов, измерены компоненты тензорной анализирующей способности реакции фоторождения  $\pi^-$ -мезона на дейтроне [10]. Импульсы конечных протонов находились в диапазоне от 300 до 700 МэВ/с. Результаты, которые были получены экспериментально, сравниваются с теоретическими расчетами. Компоненты  $T_{20}$  и  $T_{22}$  тензорной анализирующей способности имеют большие несоответствия между экспериментом и теорией. Это может быть связано с тем, что при участии двух протонов с большими импульсами используемая амплитуда не учитывает всех механизмов, которые могут протекать в реакции. И наоборот, поведение компоненты  $T_{21}$  хорошо согласуется с результатом, полученным с помощью моделирования. Чтобы улучшить согласие эксперимента и теории, можно, во-первых, учесть механизмы взаимодействия фотона с дейтроном, а во-вторых, использовать модель кварков для учёта вклада изобарной компоненты дейтрона, а также использовать новые механизмы нуклонного взаимодействия на малых расстояниях как возможность описания дейтрона.

Следующая работа была выполнена по результатам эксперимента 2013 года [11]. Были проведены измерения компоненты тензорной анализирующей

способности  $T_{20}$  в реакции когерентного фоторождения нейтрального пиона на тензорно-поляризованном дейтроне ( $\gamma d \rightarrow d\pi^0$ ). Измерение компоненты  $T_{20}$  проводилось для фотона, у которого энергия была в диапазоне от 230 до 290 МэВ, и для пиона с углами вылета от  $90^\circ$  до  $150^\circ$ . Была получена высокая статистическая точность экспериментальных результатов благодаря набранному объему данных.

Все эксперименты (с 1988 года по 2013), описанные выше, были проведены на накопителе ВЭПП-3, где использовалась внутренняя тензорно-поляризованная газовая дейтериевая мишень. В основном исследовались результаты, соответствующие каналам реакций  $\gamma d \rightarrow p p \pi^-$  и  $\gamma d \rightarrow d \pi^0$ . Как видно, канал реакции  $\gamma d \rightarrow p n \pi^0$  исследован не был. Причиной этого является сложность отделения канала реакции  $\gamma d \rightarrow p n$  от канала реакции  $\gamma d \rightarrow p n \pi^0$ .

## 2 Постановка эксперимента

Экспериментальную статистику исследуемой реакции  $\gamma d \rightarrow p n \pi^0$  планируется выделить из данных, накопленных для исследования фоторасщепления дейтрона [12, 19]. Эксперимент был проведен на ускорительно-накопительном комплексе ВЭПП-3. Накопитель ВЭПП-3 (длина 74.4 м, энергия инжекции 350 МэВ, максимальная энергия 2000 МэВ) построен в 1967 - 71 г.г., модернизирован в 1986 - 87 г.г. Последние годы были посвящены следующим направлениям деятельности:

- инжекция электронов и позитронов в коллайдер ВЭПП-4М;
- проведение работ на станциях синхротронного излучения (СИ);
- проведение работ по рентгеновской литографии и LIGA-технологии;
- изучение упругого и неупругого рассеяния электронов на внутренней поляризованной мишени (эксперимент "ДЕЙТРОН").

На рисунке 1 представлена схема размещения детектирующей аппаратуры эксперимента.

Эксперимент проходит таким образом, что пучок электронов взаимодействует с дейтериевой мишенью, затем дейтрон распадается на нейтроны, которые регистрируются верхним плечом, и протоны, которые регистрируются нижним плечом.

Для изучения тензорных эффектов в фото- и электроядерных процессах на дейтроне в установке эксперимента применяется метод внутренних мишеней. За счёт него удаётся значительно повысить эффективность использования материала мишени и пучка частиц. Также метод позволяет применить газовую мишень, благодаря чему становится возможным использование чистой (без примесей) дейтериевой мишени, которая будет иметь высокую степень поляризации, из-за чего необходимость в использовании больших магнитных полей отпадет.

В верхнем плече, на расстоянии 1,5 м от мишени, установлен тонкий сцинтилляционный счётчик. Его функцией является идентификация типа частицы, то есть отделяет заряженные частицы от незаряженных. На расстоянии 3 м от мишени установлены 6 толстых сцинтилляторов. Их функция – определение энергий и углов зарегистрированных частиц (нейтронов). Время полёта частиц от мишени до сцинтиллятора определяет энергию частиц в этом плече.

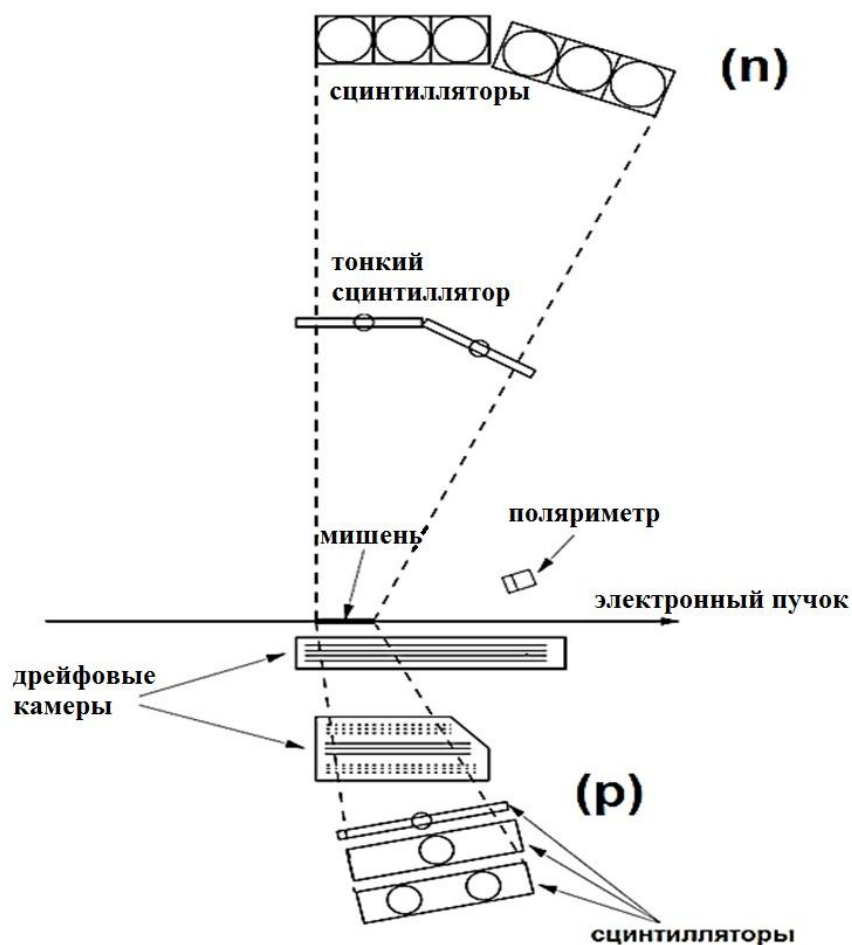


Рисунок 1 – Схема размещения детектирующей аппаратуры эксперимента

В нижнем плече, сразу после мишени, установлены дрейфовые камеры. Они измеряют углы вылета вылетающих заряженных частиц (протонов). Сразу после дрейфовых камер установлены три сцинтиллятора, которые следуют друг за другом. Ионизационные потери остановившегося в сцинтилляторе протона определяют энергию пролёта для данного плеча.



Дрейфовые камеры — это газонаполненные камеры ( $\text{Ar} + \text{CO}_2$ ), в которых для пролета частиц сделаны окна. Внутри дрейфовых камер расположено множество тончайших анодных и катодных проволочек [20]. Эти проволочки находятся под напряжением и натянуты так, чтобы в промежутке между ними создавалось однородное электрическое поле. Заряженные частицы, пролетая через газовую камеру, оставляют ионизационный след. Под действием электрического поля электроны, движущиеся с постоянной скоростью, дрейфуют по полю в направлении анодных проволочек. Ионизация, при достижении краев камеры, поглощается электроникой, в связи с чем происходит передача сигнального импульса. По сигнальному импульсу можно довольно точно определить траекторию пролетевшей частицы, а также её координаты.

### 3 Моделирование реакции фоторождения пиона

#### 3.1 Связь электро- и фоторождения $\pi$ -мезонов на дейтроне

В данной работе рассматривается реакция фоторождения пиона на дейтроне ( $\gamma d \rightarrow p n \pi^0$ ). Во время проведения экспериментальных исследований процессов, которые возникают на электронных ускорителях, существует проблема получения источника реальных фотонов. При торможении электронов, движущихся со скоростью, примерно равной скорости света, становится возможным получение пучка реальных фотонов. Данный процесс возникает в случае рассеяния электронов на ядрах мишени-конвертора, которая используется в преобразовании электронного пучка в пучок фотонов. [13]. Естественно, в таких условиях ускоритель перестанет работать в режиме накопителя, и число зарегистрированных событий уменьшится по причине значительного уменьшения светимости эксперимента. Для избежания данной ситуации, а также чтобы использование преимущества метода внутренней мишени электронного накопителя стало возможным, для экспериментов по фоторасщеплению ( $\gamma d \rightarrow p n$ ) и фоторождению ( $\gamma d \rightarrow p n \pi^0$ ) используются виртуальные фотоны [14-18]. Возникновение виртуальных фотонов происходит благодаря рассеянию релятивистских электронов под малыми углами на внутренней мишени накопителя. Поэтому, информация о реакциях фоторождения и фоторасщепления извлекается из экспериментальных данных по реакциям электророждения ( $e d \rightarrow e' p n \pi^0$ ) и электрорасщепления ( $e d \rightarrow e' p n$ ).

#### 3.2 Моделирование реакции электророждения пиона

Совокупность следствий, вытекающих из релятивистской инвариантности и сохранения энергии-импульса, образует кинематику

превращений элементарных частиц [21]. Кинематика отвечает на вопрос: что можно сказать о превращениях частиц, опираясь только на законы сохранения?

В данной работе будет моделироваться ядерная реакция электроророждения нейтрального пи-мезона (далее пион) на дейтроне. Записывается она следующим образом:

$$ed \rightarrow e'pn\pi^0, \quad (3)$$

где  $e$  – электрон;

$d$  – дейтрон;

$e'$  – рассеянный электрон;

$p$  – протон,  $n$  – нейтрон;

$\pi^0$  – нейтральный пи-мезон.

На рисунке 2 схематично показан процесс распада начальной системы ( $ed$ ). Процесс распада  $ed$ -системы состоит из трех этапов, которые были созданы для удобства моделирования реакции (3). В первом этапе  $ed$ -система распадается на компаунд-частицу, состоящую из рассеянного электрона, протона и нейтрона, и на  $\pi^0$ , во втором –  $e'pn$  распадается на  $e'$  и компаунд-частицу  $pn$ , в третьем этапе  $pn$  распадается на протон и нейтрон.

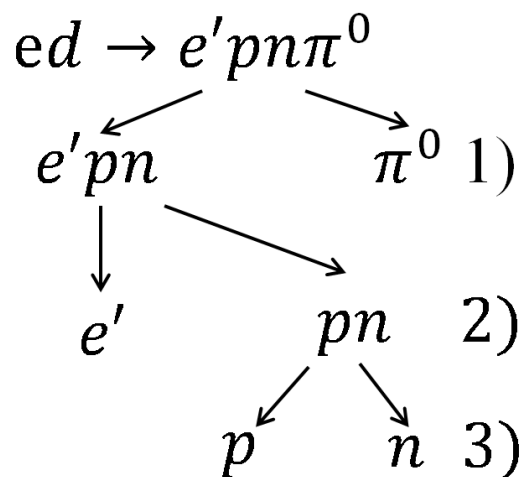


Рисунок 2 – Процесс распада  $ed$ -системы: 1) – первый этап, 2) – второй этап, 3) – третий этап

Таким образом, моделирование будет проходить в три этапа, следовательно, и расчеты кинематических величин будут проходить так же.

Для моделирования реакции понадобятся массы протона, нейтрона, пиона, дейтрона и электрона в единицах измерения энергии, т.к. в кинематике скорость света условно принята равной единице, а также максимальная энергия начального электрона.

Необходимые данные:  $M_d = 1875,61339$  МэВ,  $m_p = 938,2796$  МэВ,  $m_n = 939,5731$  МэВ,  $m_{\pi^0} = 134,9766$  МэВ,  $m_e = 0,511$  МэВ,  $E_e = 2000$  МэВ.

Задача решается с помощью расчета основных кинематических величин в системе центра масс (СЦМ) и в дальнейшем переводе их в лабораторную систему с помощью преобразований Лоренца (переменные в СЦМ будут выделены индексом \*). В СЦМ сначала будут определяться импульсы и энергии пиона и компаунд-частицы ( $e^*pn$  – частицы). Удобно решать данную задачу с помощью компаунд-частицы, так как решение будет сводиться к каскадам двухчастичных распадов. Электрон и дейтрон образуют частицу, которая распадется на пион и компаунд-частицу ( $e^*pn$ ), затем компаунд-частица ( $e^*pn$ ) распадется на еще одну компаунд-частицу ( $pn$ ) и электрон, и в конце компаунд-частица ( $pn$ ) распадается на протон и нейтрон.

Дейтрон покоится, значит, его полная энергия будет равна его энергии покоя, а импульс, соответственно, равен нулю. В лабораторной системе полная энергия  $E_0$  равна сумме полной энергии электрона и дейтрона, а полный импульс равен импульсу электрона:

$$E_0 = E_e + M_d = W_e + m_e + M_d, \quad (4)$$

$$p_0 = p_e = \sqrt{W_e^2 - m_e^2}, \quad (5)$$

где  $E_e$  – полная энергия электрона;

$W_e$  – кинетическая энергия электрона, равная его максимальной энергии (2000 МэВ).

Одним из основных кинематических инвариантов является эффективная масса группы частиц, рассчитываемая по формуле

$$m_0 = \sqrt{E_0^2 - p_0^2}. \quad (6)$$

### 3.3 Поэтапное моделирование процессов реакции электророждения пиона

#### 3.3.1 Моделирование процесса первого этапа реакции

Разыгрываем массу компаунд-частицы ( $e'pn$ ):

$$m_{e'} + m_p + m_n < M_{e'pn} < m_0 - m_{\pi^0}. \quad (7)$$

Рассчитаем энергию и импульс компаунд-частицы ( $e'pn$ ) в СЦМ:

$$E_{e'pn}^* = \frac{m_0^2 + M_{e'pn}^2 - m_{\pi^0}^2}{2m_0}, \quad (8)$$

$$p_{e'pn}^* = \sqrt{E_{e'pn}^{*2} - M_{e'pn}^2}. \quad (9)$$

Положение частицы в СЦМ определяется полярным углом  $\theta^*$  и азимутальным углом  $\varphi^*$ . Для азимутального угла  $\varphi^*$  с помощью генератора случайных чисел разыгрывались значения от 0 до  $2\pi$ , а для косинуса полярного угла  $\theta^*$  от -1 до 1.

Найдем составляющие импульса компаунд-частицы ( $e'pn$ ) в СЦМ:

$$p_{e'pnz}^* = p_{e'pn}^* \cdot \cos \theta_{e'pn}^*, \quad (10)$$

$$p_{e'pny}^* = p_{e'pn}^* \cdot \sin \theta_{e'pn}^* \cdot \sin \varphi_{e'pn}^*, \quad (11)$$

$$p_{e'pnx}^* = p_{e'pn}^* \cdot \sin \theta_{e'pn}^* \cdot \cos \varphi_{e'pn}^*. \quad (1)$$

Составляющие импульса компаунд-частицы ( $e'pn$ ) в лабораторной системе будут равны:

$$p_{e'pnz} = p_{e'pnz}^* + p_0 \frac{E_{e'pn} + E_{e'pn}^*}{E_0 + m_0}. \quad (2)$$

А составляющие импульса компаунд-частицы ( $e'pn$ ) по осям  $y$  и  $x$  в лабораторной системе будут равны уравнениям (11) и (12) соответственно.

Теперь, с помощью уравнений (11) – (12), находим полный импульс, полярный и азимутальный углы компаунд-частицы ( $e'pn$ ) в лабораторной системе:

$$p_{e'pn} = \sqrt{p_{e'pnx}^2 + p_{e'pny}^2 + p_{e'pnz}^2}, \quad (3)$$

$$\theta_{e'pn} = \arccos \frac{p_{e'pnz}}{p_{e'pn}}, \quad (4)$$

$$\varphi_{e'pn} = \arctg \frac{p_{e'pny}}{p_{e'pnx}}. \quad (5)$$

Далее будем находить кинематические величины для пиона.

Рассчитаем энергии и импульсы пиона в СЦМ:

$$E_{\pi^0}^* = \frac{m_0^2 + m_{\pi^0}^2 - M_{e'pn}^2}{2m_0}, \quad (6)$$

$$p_{\pi^0}^* = \sqrt{E_{\pi^0}^{*2} - m_{\pi^0}^2}. \quad (7)$$

Энергия пиона в лабораторной системе найдем по формуле:

$$E_{\pi^0} = \frac{E_{\pi^0}^* \cdot E_0 + p_0 \cdot p_{\pi^0z}^*}{m_0}. \quad (8)$$

Полет пиона мы рассматриваем относительно системы четырех частиц ( $e'pn\pi^0$ ), исходя из этого, найдём его составляющие в лабораторной системе и в СЦМ. Также учтём, что импульсы по осям  $y$  и  $x$  в лабораторной системе будут равны этим же импульсам, но в СЦМ.

$$p_{\pi^0z}^* = -p_{\pi^0}^* \cdot \cos \theta_{e'pn}^*, \quad (20)$$

$$p_{\pi^0y} = -p_{e'pny}, \quad (21)$$

$$p_{\pi^0x} = -p_{e'pnx}, \quad (9)$$

$$p_{\pi^0z} = p_{\pi^0z}^* + p_0 \frac{E_{\pi^0} + E_{\pi^0}^*}{E_0 + m_0}. \quad (10)$$

Зная все проекции, найдем полный импульс пиона в лабораторной системе:

$$p_{\pi^0} = \sqrt{p_{\pi^0x}^2 + p_{\pi^0y}^2 + p_{\pi^0z}^2}. \quad (11)$$

Полярный и азимутальный углы пиона в лабораторной системе:

$$\theta_{\pi^0} = \arccos \frac{p_{\pi^0 z}}{p_{\pi^0}}, \quad (12)$$

$$\varphi_{\pi^0} = \arctg \frac{p_{\pi^0 y}}{p_{\pi^0 x}}. \quad (13)$$

### 3.3.2 Моделирование процесса второго этапа реакции

Разыгрываем массу компаунд-частицы (pn):

$$m_p + m_n < M_{pn} < M_{e'pn} - m_e - m_p - m_n. \quad (14)$$

Далее находим полные энергию и импульс компаунд-частицы (pn) в СЦМ:

$$E_{pn}^* = \frac{M_{e'pn}^2 + M_{pn}^2 - m_e^2}{2M_{e'pn}}, \quad (15)$$

$$p_{pn}^* = \sqrt{E_{pn}^{*2} - M_{pn}^2}. \quad (16)$$

Розыгрыш азимутального угла  $\varphi^*$  и косинуса полярного угла  $\theta^*$  проводился так же, как и в первом этапе.

Удобно рассматривать распад компаунд-частицы ( $e'pn$ ) на электрон и компаунд-частицу (pn) в локальной системе координат, в которой орт  $\vec{k}$  служит продолжением импульса компаунд-частицы (pn) либо полярной осью сферической системы координат, орт  $\vec{l}$  лежит в плоскости  $(\vec{k}, \vec{z})$ , орт  $\vec{j}$  перпендикулярен этой плоскости. Полярный угол  $\theta_{pn}^*$  сферической системы координат отсчитывается от полярной оси  $\vec{k}$ , азимутальный угол  $\varphi_{pn}^*$  отсчитывается в плоскости  $(\vec{l}, \vec{j})$  от оси  $\vec{l}$ .

С помощью векторной алгебры можно прийти к формулам перевода из локальной системы координат в основную (в данном случае в СЦМ).

Преобразование от повернутой системы координаты можно записать в виде:

$$\begin{pmatrix} p_{pnx}^* \\ p_{pny}^* \\ p_{pnz}^* \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta_{e'pn}^* \cos \varphi_{e'pn}^* & -\sin \varphi_{e'pn}^* & \sin \theta_{e'pn}^* \cos \varphi_{e'pn}^* \\ \cos \theta_{e'pn}^* \sin \varphi_{e'pn}^* & \cos \varphi_{e'pn}^* & \sin \theta_{e'pn}^* \sin \varphi_{e'pn}^* \\ -\sin \theta_{e'pn}^* & 0 & \cos \theta_{e'pn}^* \end{pmatrix} \begin{pmatrix} p_{pni}^* \\ p_{pnj}^* \\ p_{pnk}^* \end{pmatrix}, \quad (30)$$

где  $p_{pni}^* = p_{pn}^* \sin \theta_{pn}^* \cos \varphi_{pn}^*$ ;

$p_{pnj}^* = p_{pn}^* \sin \theta_{pn}^* \sin \varphi_{pn}^*$ ;

$p_{pnk}^* = p_{pn}^* \cos \theta_{pn}^*$ .

Найдем полный импульс компаунд-частицы (pn) в лабораторной системе:

$$E_{pn} = \frac{E_{pn}^* \cdot E_{e'pn} + p_{e'pnx} \cdot p_{pnx}^* + p_{e'pny} \cdot p_{pny}^* + p_{e'pnz} \cdot p_{pnz}^*}{M_{e'pn}}. \quad (31)$$

Далее найдем проекции импульса, полный импульс, полярный и азимутальный углы компаунд-частицы (pn) в лабораторной системе:

$$p_{pnx} = p_{pnx}^* + p_{e'pnx} \frac{E_{pn} + E_{pn}^*}{E_{e'pn} + M_{e'pn}}, \quad (17)$$

$$p_{pny} = p_{pny}^* + p_{e'pny} \frac{E_{pn} + E_{pn}^*}{E_{e'pn} + M_{e'pn}}, \quad (18)$$

$$p_{pnz} = p_{pnz}^* + p_{e'pnz} \frac{E_{pn} + E_{pn}^*}{E_{e'pn} + M_{e'pn}}, \quad (19)$$

$$p_{pn} = \sqrt{p_{pnx}^2 + p_{pny}^2 + p_{pnz}^2}, \quad (20)$$

$$\theta_{pn} = \arccos \frac{p_{pnz}}{p_{pn}}, \quad (21)$$

$$\varphi_{pn} = \arctg \frac{p_{pny}}{p_{pnx}}. \quad (22)$$

Те же операции были проделаны для электрона. Ниже запишем конечные уравнения для кинематических величин в лабораторной системе, соответствующие электрону: полная энергия (38), составляющие импульса (39, 40, 41), полный импульс (42), полярный и азимутальный углы:

$$E_{e'} = \frac{E_{e'}^* \cdot E_{e'pn} + p_{e'pnx} \cdot p_{e'ix}^* + p_{e'pny} \cdot p_{e'iy}^* + p_{e'pnz} \cdot p_{e'iz}^*}{M_{e'pn}}, \quad (38)$$

$$p_{e'ix} = p_{e'ix}^* + p_{e'pnx} \frac{E_{e'} + E_{e'}^*}{E_{e'pn} + M_{e'pn}}, \quad (23)$$

$$p_{e'iy} = p_{e'iy}^* + p_{e'pny} \frac{E_{e'} + E_{e'}^*}{E_{e'pn} + M_{e'pn}}, \quad (40)$$



$$p_{e'z} = p_{e'z}^* + p_{e'pnz} \frac{E_{e'} + E_{e'}^*}{E_{e'pn} + M_{e'pn}}, \quad (41)$$

$$p_{e'} = \sqrt{p_{e'x}^2 + p_{e'y}^2 + p_{e'z}^2}, \quad (42)$$

$$\theta_{e'} = \arccos \frac{p_{e'z}}{p_{e'}}, \quad (43)$$

$$\varphi_{e'} = \arctg \frac{p_{e'y}}{p_{e'x}}. \quad (44)$$

### 3.3.3 Моделирование процесса третьего этапа реакции

Теперь рассмотрим распад последней из компаунд-частиц (pn) на протон и нейтрон.

Найдем полную энергию и импульс протона в СЦМ:

$$E_p^* = \frac{m_p^2 + M_{pn}^2 - m_n^2}{2M_{pn}}, \quad (45)$$

$$p_p^* = \sqrt{E_p^{*2} - m_p^2}. \quad (46)$$

Розыгрыш азимутального угла  $\varphi^*$  и косинуса полярного угла  $\theta^*$  для протона проводился так же, как и в первом и во втором этапах моделирования.

Далее, для нахождения проекций протона в СЦМ, проводим те же операции, что и в уравнении (30):

$$\begin{pmatrix} p_{px}^* \\ p_{py}^* \\ p_{pz}^* \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta_p^* \cos \varphi_p^* & -\sin \varphi_p^* & \sin \theta_p^* \cos \varphi_p^* \\ \cos \theta_p^* \sin \varphi_p^* & \cos \varphi_p^* & \sin \theta_p^* \sin \varphi_p^* \\ -\sin \theta_p^* & 0 & \cos \theta_p^* \end{pmatrix} \begin{pmatrix} p_{pi}^* \\ p_{pj}^* \\ p_{pk}^* \end{pmatrix}, \quad (47)$$

где  $p_{pi}^* = p_p^* \sin \theta_p^* \cos \varphi_p^*$ ;

$p_{pj}^* = p_p^* \sin \theta_p^* \sin \varphi_p^*$ ;

$p_{pk}^* = p_p^* \cos \theta_p^*$ .

С помощью найденных проекций, определяем полную энергию протона в лабораторной системе:

$$E_p = \frac{E_p^* \cdot E_{pn} + p_{pnx} \cdot p_{px}^* + p_{pny} \cdot p_{py}^* + p_{pnz} \cdot p_{pz}^*}{M_{pn}}. \quad (48)$$

Составляющие импульса протона в лабораторной системе получены по формулам:

$$p_{px} = p_{px}^* + p_{pnx} \frac{E_p + E_p^*}{E_{pn} + M_{pn}}, \quad (49)$$

$$p_{py} = p_{py}^* + p_{pny} \frac{E_p + E_p^*}{E_{pn} + M_{pn}}, \quad (50)$$

$$p_{pz} = p_{pz}^* + p_{pnz} \frac{E_p + E_p^*}{E_{pn} + M_{pn}}. \quad (51)$$

Полный импульс протона будет равен:

$$p_p = \sqrt{p_{px}^2 + p_{py}^2 + p_{pz}^2}. \quad (52)$$

Полярный и азимутальный углы протона в лабораторной системе отсчета будут равны:

$$\theta_p = \arccos \frac{p_{pz}}{p_p}, \quad (53)$$

$$\varphi_p = \arctg \frac{p_{py}}{p_{px}}. \quad (54)$$

Те же операции были проделаны для нейтрона. Ниже запишем конечные уравнения для кинематических величин в лабораторной системе, соответствующие нейтрону: полная энергия (55), составляющие импульса (56, 57, 58), полный импульс (59), полярный и азимутальный углы (60, 61):

$$E_n = \frac{E_n^* \cdot E_{pn} + p_{pnx} \cdot p_{nx}^* + p_{pny} \cdot p_{ny}^* + p_{pnz} \cdot p_{nz}^*}{M_{pn}}, \quad (55)$$

$$p_{nx} = p_{nx}^* + p_{pnx} \frac{E_n + E_n^*}{E_{pn} + M_{pn}}, \quad (56)$$

$$p_{ny} = p_{ny}^* + p_{pny} \frac{E_n + E_n^*}{E_{pn} + M_{pn}}, \quad (57)$$

$$p_{nz} = p_{nz}^* + p_{pnz} \frac{E_n + E_n^*}{E_{pn} + M_{pn}}, \quad (58)$$

$$p_n = \sqrt{p_{nx}^2 + p_{ny}^2 + p_{nz}^2}, \quad (59)$$

$$\theta_n = \arccos \frac{p_{nz}}{p_n}, \quad (60)$$

$$\varphi_n = \arctg \frac{p_{ny}}{p_{nx}}. \quad (61)$$

### 3.4 Переданный импульс $q$

Реакция  $ed \rightarrow e'pn\pi^0$  преимущественно протекает при малых углах рассеяния электрона, близких к нулю, потому что вероятность протекания реакции обратна пропорциональна  $q^2$ .  $q^2$  – это переданный 4-импульс, который определяется как разница между начальным и конечным 4-импульсом электрона:

$$q^2 = (P_e - P_{e'})^2. \quad (62)$$

Для нахождения начального и конечного 4-импульсов электрона воспользуемся следующими выражениями:

$$P_e = \{E_e, p_{ex}, p_{ey}, p_{ez}\}, \quad (63)$$

где  $E_e$  – полная энергия начального электрона, находится из формулы (4);

$p_{ex}$  и  $p_{ey}$  – проекции импульса электрона, равные нулю, так как электрон движется вдоль оси  $z$ ;

$p_{ez}$  – проекция импульса электрона по оси  $z$ , равная импульсу электрона, находится по формуле (5).

$$P_{e'} = \{E_{e'}, p_{e'x}, p_{e'y}, p_{e'z}\}, \quad (64)$$

где  $E_{e'}$  – полная энергия рассеянного электрона, находится из формулы (38);

$p_{e'x}, p_{e'y}, p_{e'z}$  – проекции импульса рассеянного электрона, находятся по формулам (39), (40) и (41), соответственно.

Таким образом, конечное выражение для квадрата переданного 4-импульса записывается следующим образом:

$$q^2 = (P_e - P_{e'})^2 = (E_e - E_{e'})^2 - (-p_{e'x})^2 - (-p_{e'y})^2 - (p_{ez} - p_{e'z})^2. \quad (65)$$

Полученный квадрат переданного 4-импульса позволяет в процессе моделирования выбрать только нужные события, то есть события, соответствующие малому углу рассеяния электрона.

## 4 Результаты моделирования

Для выполнения цели данной работы, то есть определения, возможно ли выделить события реакции  $ed \rightarrow e'pn\pi^0$  из зарегистрированных  $pn$ -совпадений, необходимо ввести дополнительный критерий идентификации. Этим критерием является эффективная недостающая масса  $M_x$ .

Эффективная масса – это 4-импульс зарегистрированных частиц. Недостающая масса – это эффективная масса не зарегистрированных или ненаблюдаемых частиц.

Четырёхмерный импульс (4-импульс) – это 4-вектор энергии-импульса, релятивистское обобщение классического трехмерного вектора импульса (количества движения) на четырехмерное пространство-время. В этом случае три компоненты классического вектора импульса  $p = (p_x, p_y, p_z)$  материальной точки при этом становятся тремя пространственными компонентами вектора 4-импульса. Компонента времени вектора 4-импульса – это полная энергия материальной точки.

Итак, квадрат эффективной недостающей массы  $M_x$  системы  $ed \rightarrow e'pn\pi^0$  определяется как

$$M_x^2 = (P_0 - P_{pn})^2, \quad (66)$$

где  $P_0$  – 4-импульс начальной системы  $e + d$ ;

$P_{pn}$  – 4-импульс протон-нейтронной системы.

Определим  $P_0$  и  $P_{pn}$ :

$$P_0 = \{E_0, p_x, p_y, p_z\}, \quad (67)$$

где  $E_0$  – полная энергия  $ed$ -системы, определяется формулой (4);

$p_x, p_y, p_z$  – составляющие импульса электрона, импульсы  $p_x$  и  $p_y$  равны нулю, так как электрон движется вдоль оси  $z$ ,  $p_z$  определяется формулой (4).

$$p_{pn} = (E_{pn}, p_{pnx}, p_{pny}, p_{pnz}), \quad (68)$$

где  $E_{pn} = E_p + E_n$ ,  $E_p$  определяется формулой (48),  $E_n$  определяется формулой (55);

$p_{pnx} = p_{px} + p_{nx}$ ,  $p_{px}$  находится по формуле (49),  $p_{nx}$  – (56);

$p_{pny} = p_{py} + p_{ny}$ ,  $p_{py}$  находится по формуле (50),  $p_{ny}$  – (57);

$p_{pnz} = p_{pz} + p_{nz}$ ,  $p_{pz}$  находится по формуле (51),  $p_{nz}$  – (58);

Таким образом, записываем конечное выражение для квадрата недостающей массы  $M_x$  системы  $ed \rightarrow e'pn\pi^0$

$$M_x^2 = (P_0 - P_{pn})^2 = (E_0 - E_p - E_n)^2 - (p_{px} + p_{nx})^2 - (p_{py} + p_{ny})^2 - (p_0 - p_{pz} - p_{nz})^2. \quad (69)$$

Квадрат недостающей массы для системы  $ed \rightarrow e'pn$  находится аналогично.

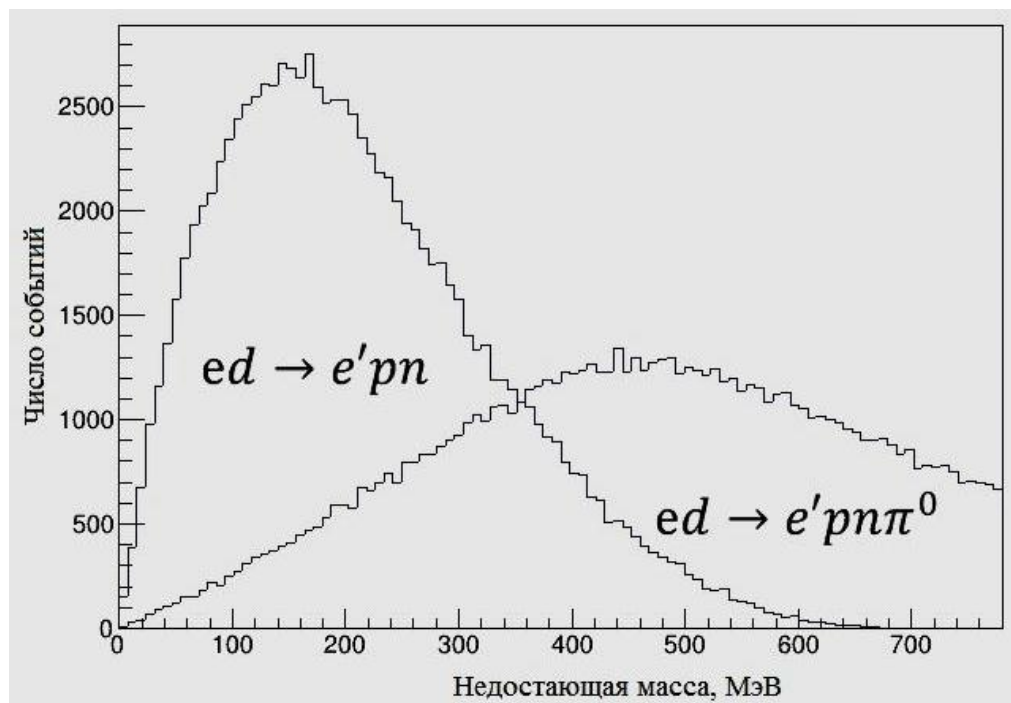


Рисунок 3 – Распределение событий по недостающей эффективной массе

Данный алгоритм из выше написанных формул (3-69) был реализован на языке программирования C++ и был разыгран 100000 раз [22]. В процессе моделирования были учтены погрешности измерения углов вылета и энергий для протонов и нейтронов [9, 10]. В результате с помощью программного пакета ROOT было получено распределение по недостающей массе, представленное на рисунке 3.

Анализ распределений по недостающей массе для реакций  $ed \rightarrow e'pn\pi^0$  и  $ed \rightarrow e'pn$  показывает, что при значении недостающей эффективной массы более 500 МэВ, фоновый вклад реакции фоторасщепления дейтрона составляет 6%, что не превышает прогнозируемую статистическую ошибку определения событий реакции  $ed \rightarrow e'pn\pi^0$ .

## **5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

Цель раздела – комплексное описание и анализ финансово-экономических аспектов выполненной работы. Необходимо оценить полные денежные затраты на исследование (проект), а также дать приближенную экономическую оценку результатов ее внедрения. Это в свою очередь позволит с помощью традиционных показателей эффективности инвестиций оценить экономическую целесообразность осуществления работы. Раздел должен быть завершен комплексной оценкой научно-технического уровня ВКР на основе экспертных данных.

### **5.1 Организация и планирование работ**

При организации процесса реализации конкретного проекта необходимо рационально планировать занятость каждого из его участников и сроки проведения отдельных работ [23].

В данном пункте составляется полный перечень проводимых работ, определяются их исполнители и рациональная продолжительность. Наглядным результатом планирования работ является сетевой, либо линейный график реализации проекта. Так как число исполнителей не превышает двух, предпочтительным является линейный график. Для его построения хронологически упорядоченные вышеуказанные данные представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Перечень работ и продолжительность их выполнения

Этап работы	Исполнители	Загрузка исполнителей
Постановка целей и задач, получение исходных данных	Науч. руководитель (НР)	НР – 100%
Составление и утверждение ТЗ	НР, инженер (И)	НР – 100% И – 10%



Этап работы	Исполнители	Загрузка исполнителей
Подбор и изучение материалов по тематике	НР, И	НР – 30% И – 100%
Разработка календарного плана	НР, И	НР – 100% И – 10%
Обсуждение литературы	НР, И	НР – 30% И – 100%
Выбор моделируемой реакции	НР, И	НР – 100% И – 70%
Получение алгоритма моделирования	НР, И	НР – 100% И – 80%
Реализация алгоритма на языке C++	И	И – 100%
Оформление расчетно-пояснительной записки	И	И – 100%
Оформление графического материала	И	И – 100%
Подведение итогов	НР, И	НР – 60% И – 100%

### 5.1.1 Продолжительность этапов работ

Расчет продолжительности этапов работ может осуществляться двумя методами:

- технико-экономическим;
- опытно-статистическим.

Первый применяется в случаях наличия достаточно развитой нормативной базы трудоемкости планируемых процессов, что в свою очередь обусловлено их высокой повторяемостью в устойчивой обстановке. Так как исполнитель работы зачастую не располагает соответствующими нормативами, то используется опытно-статистический метод, который реализуется двумя способами:

- аналоговый;
- экспертный.

Аналоговый способ привлекает внешней простотой и околонулевыми затратами, но возможен только при наличии в поле зрения исполнителя ВКР не устаревшего аналога, т.е. проекта в целом или хотя бы его фрагмента, который

по всем значимым параметрам идентичен выполняемой ВКР. В большинстве случаев он может применяться только локально – для отдельных элементов.

Экспертный способ используется при отсутствии вышеуказанных информационных ресурсов и предполагает генерацию необходимых количественных оценок специалистами конкретной предметной области, опирающимися на их профессиональный опыт и эрудицию [24]. Для определения вероятных значений продолжительности работ  $t_{ож}$  применяется по усмотрению исполнителя одна из двух формул.

$$t_{ож} = \frac{3t_{min} + 2t_{max}}{5}, \quad (70)$$

$$t_{ож} = \frac{t_{min} + 4t_{prob} + t_{max}}{5}, \quad (71)$$

где  $t_{ож}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения работы чел.-дн.;

$t_{min}$  – минимальная продолжительность работы, чел.-дн.;

$t_{max}$  – максимальная продолжительность работы, чел.-дн.;

$t_{prob}$  – наиболее вероятная продолжительность работы, чел.-дн.

Вторая формула дает более надежные оценки, но предполагает большую «нагрузку» на экспертов.

Для выполнения перечисленных в таблице 1 работ требуются специалисты:

- студент-инженер – в его роли действует исполнитель ВКР;
- научный руководитель.

Для построения линейного графика необходимо рассчитать длительность этапов в рабочих днях, а затем перевести ее в календарные дни.

Расчет продолжительности выполнения каждого этапа в рабочих днях:

$$T_{рд} = \frac{t_{ож}}{K_{вн}} \cdot K_{д}, \quad (72)$$

где  $K_{вн}$  – коэффициент выполнения работ, учитывающий влияние внешних факторов на соблюдение предварительно определенных длительностей;

$K_{д}$  – коэффициент, учитывающий дополнительное время на компенсацию непредвиденных задержек и согласование работ.

Расчет продолжительности этапа в календарных днях ведется по формуле:

$$T_K = \frac{T_{\text{КАЛ}}}{T_{\text{КАЛ}} - T_{\text{ВД}} - T_{\text{ПД}}}, \quad (73)$$

где  $T_{\text{КАЛ}}$  – календарные дни;

$T_{\text{ВД}}$  – выходные дни;

$T_{\text{ПД}}$  – праздничные дни.

При  $T_{\text{КАЛ}} = 365$ ,  $T_{\text{ВД}} = 52$ ,  $T_{\text{ПД}} = 10$ .

В таблице 2 приведен пример определения продолжительности этапов работ и их трудоемкости по исполнителям, занятым на каждом этапе. В столбцах 3 – 5 реализован экспертный способ по формуле 70, при использовании формулы 71 необходимо вставить в таблицу дополнительный столбец для  $t_{\text{гроб}}$ . Столбцы 6 и 7 содержат величины трудоемкости этапа для каждого из двух участников проекта, научного руководителя и студента-инженера, с учетом коэффициента  $K_D = 1,2$ .

Каждое из них в отдельности не может превышать соответствующее значение  $t_{\text{ож}} \cdot K_D$ . Столбцы 8 и 9 – трудоемкости, выраженные в календарных днях путем дополнительного умножения на  $T_K = 1,212$ . Итог по столбцу 5 дает общую ожидаемую продолжительность работы над проектом в рабочих днях, итоги по столбцам 8 и 9 – общие трудоемкости для каждого из участников проекта. Величины трудоемкости этапов по исполнителям ТКД, данные столбцов 8 и 9 кроме итогов, позволяют построить линейный график осуществления проекта, представленного в таблице 3.

Таблица 2 – Трудозатраты на выполнение проекта

Этап	Продолжительность работ, дни						Длител. работ в рабочих днях $T_{РД}$		Длител. работ в календар. днях $T_{КД}$	
	$t_{min}$		$t_{max}$		$t_{ож}$					
Исполнители	НР	И	НР	И	НР	И	НР	И	НР	И
Постановка целей и задач, получение исходных данных	2	3	4	5	2,8	3,8	2,8	3,8	3,37	4,58
Составление и утверждение технического задания (ТЗ)	2	-	5	-	3,2	-	3,2	-	3,86	-
Подбор и изучение материалов по тематике	5	10	6	15	5,4	12	5,4	12	6,51	10,46
Разработка календарного плана	2	3	4	7	2,8	4,6	2,8	4,6	3,37	5,54
Обсуждение литературы	3	9	6	12	4,2	10,2	4,2	10,2	5,06	12,29
Выбор моделируемой реакции	7	8	14	10	9,8	8,8	9,8	8,8	11,81	10,6
Получение алгоритма моделирования	6	7	9	9	7,2	7,8	7,2	7,8	8,68	9,4
Реализация алгоритма на языке C++	-	30	-	35	-	32	-	32	–	28,56
Оформление расчетно-пояснительной записки	-	6	-	9	-	7,2	-	7,2	–	8,68
Оформление графического материала	-	7	-	10	-	8,2	-	8,2	–	9,88
Подведение итогов	5	10	8	15	6,2	12	6,2	12	7,47	14,46
Итого:					41,6	106,6	41,6	106,6	50,13	108,5

Таблица 3 – Линейный график работы

Этап	НР	И	Март			Апрель			Май			Июнь		
			10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
1	3,37	4,58												
2	3,86	-												
3	6,51	10,46												
4	3,37	5,54												
5	5,06	12,29												
6	11,81	10,6												
7	8,68	9,4												
8	–	28,56												
9	–	8,68												
10	–	9,88												
11	7,47	14,46												

НР – ; И –

### 5.1.2 Расчет накопления готовности проекта

Цель данного пункта – оценка текущих состояний (результатов) работы над проектом. Величина накопления готовности работы показывает, на сколько процентов по окончании текущего ( $i$ -го) этапа выполнен общий объем работ по проекту в целом.

Введем обозначения:

- $TP_{\text{общ}}$  – общая трудоемкость проекта;
- $TP_i$  ( $TP_k$ ) – трудоемкость  $i$ -го ( $k$ -го) этапа проекта,  $i = \overline{1, I}$ ;
- $TP_i^H$  – накопленная трудоемкость  $i$ -го этапа проекта по его завершении;
- $TP_{ij}$  ( $TP_{kj}$ ) – трудоемкость работ, выполняемых  $j$ -м участником на  $i$ -м этапе, здесь  $j = \overline{1, m}$  – индекс исполнителя, в нашем примере  $m = 2$ .

Степень готовности определяется формулой:

$$CG_i = \frac{TP_i^H}{TP_{\text{общ}}} = \frac{\sum_{k=1}^i TP_k}{TP_{\text{общ}}} = \frac{\sum_{k=1}^i \sum_{j=1}^m TP_{km}}{\sum_{k=1}^I \sum_{j=1}^m TP_{km}}. \quad (74)$$

Применительно к таблице 2 величины  $TP_{ij}$  ( $TP_{kj}$ ) находятся в столбцах (6,  $j = 1$ ) и (7,  $j = 2$ ).  $TP_{\text{общ}}$  равна сумме чисел из итоговых клеток этих столбцов. Пример расчета  $TP_i$  (%) и  $CG_i$  (%) на основе этих данных содержится в таблице 4.

Таблица 4 – Нарастание технической готовности работы и удельный вес каждого этапа

Этап	$TP_i$ , %	$CG_i$ , %
Постановка задачи	4,86	4,86
Разработка и утверждение технического задания (ТЗ)	4,86	9,72
Подбор и изучение материалов по тематике	4,86	14,58
Разработка календарного плана	4,86	19,44
Обсуждение литературы	4,86	24,31
Выбор моделируемой реакции	4,86	29,17
Получение алгоритма моделирования	22,22	51,39

Этап	ТР <sub>i</sub> , %	СГ <sub>i</sub> , %
Реализация алгоритма на языке C++	27,08	78,47
Оформление расчетно-пояснительной записки	11,81	90,28
Оформление графического материала	4,86	95,14
Подведение итогов	4,86	100,00

### 5.1.3 Расчет сметы на выполнение проекта

В состав затрат на создание проекта включается величина всех расходов, необходимых для реализации комплекса работ, составляющих содержание данной разработки. Расчет сметной стоимости ее выполнения производится по следующим статьям затрат:

- материалы и покупные изделия;
- заработная плата;
- социальный налог;
- расходы на электроэнергию (без освещения);
- амортизационные отчисления.

### 5.1.4 Расчет затрат на материалы

К данной статье расходов относится стоимость материалов, покупных изделий, полуфабрикатов и других материальных ценностей, расходуемых непосредственно в процессе выполнения работ над объектом проектирования. Сюда же относятся специально приобретенное оборудование, инструменты и прочие объекты, относимые к основным средствам, стоимостью до 40 000 руб. включительно. Цена материальных ресурсов определяется по соответствующим ценникам или договорам поставки. Кроме того, статья включает так называемые транспортно-заготовительные расходы, связанные с транспортировкой от поставщика к потребителю, хранением и прочими процессами, обеспечивающими движение (доставку) материальных ресурсов от поставщиков к потребителю. Сюда же включаются расходы на совершение

сделки купли-продажи (т.н. транзакции). Приблизительно они оцениваются в процентах к отпускной цене закупаемых материалов, как правило, это 5 – 20 %. Исполнитель работы самостоятельно выбирает их величину в границах, представленных в таблице 5.

Таблица 5 – Расчет затрат на материалы

Наименование материалов	Цена за ед., руб.	Кол-во	Сумма, руб.
Бумага для принтера формата А4	250	1 уп.	250
Картридж для принтера	1550	1 шт.	1550
Итого:			1800

Допустим, что ТЗР составляют 5 % от отпускной цены материалов, тогда расходы на материалы с учетом ТЗР равны:

$$C_{\text{МАТ}} = 1800 \cdot 1,05 = 1890.$$

### 5.1.5 Расчет заработной платы

Данная статья расходов включает заработную плату научного руководителя и студента-инженера, в его роли выступает исполнитель проекта, а также премии, входящие в фонд заработной платы. Расчет основной заработной платы выполняется на основе трудоемкости выполнения каждого этапа и величины месячного оклада исполнителя [24]. Среднедневная тарифная заработная плата ( $ЗП_{\text{дн-т}}$ ) рассчитывается по формуле:

$$ЗП_{\text{дн-т}} = \frac{МО}{20,58}, \quad (75)$$

где 20,58 – среднее количество рабочих дней в месяце при пятидневной рабочей недели.

Пример расчета затрат на полную заработную плату приведены в таблице 6. Затраты времени по каждому исполнителю в рабочих днях с округлением до целого взяты из таблицы 2. Для учета в ее составе премий, дополнительной зарплаты и районной надбавки используется следующий ряд коэффициентов:  $K_{\text{ПР}} = 1,1$ ;  $K_{\text{ДОП.ЗП}} = 1,133$ ;  $K_{\text{Р}} = 1,3$ . Таким образом, для перехода от тарифной суммы заработка исполнителя, связанной с участием в



проекте, к соответствующему полному заработку необходимо первую умножить на интегральный коэффициент:

$$K_{\text{И}} = K_{\text{ПР}} \cdot K_{\text{ДОП ЗП}} \cdot K_{\text{Р}}, \quad (76)$$

$$K_{\text{И}} = 1,1 \cdot 1,133 \cdot 1,3 = 1,62.$$

Таблица 6 – Затраты на заработную плату

Исполнитель	Оклад руб./мес.	Среднедневная ставка руб./раб.день	Затраты времени, раб.дни	Коэффициент	Фон з/п, руб.
НР	21574	860,1	42	1,699	61367,88
И	15470	616,75	107	1,62	106907,45
Итого:					168275,33

### 5.1.6 Расчет затрат на социальный налог

Затраты на единый социальный налог (ЕСН), включающий в себя отчисления в пенсионный фонд, на социальное и медицинское страхование, составляют 30 % от полной заработной платы по проекту:

$$C_{\text{СОЦ}} = C_{\text{ЗП}} \cdot 0,3, \quad (77)$$

$$C_{\text{СОЦ}} = 122859,22 \cdot 0,3 = 36857,77.$$

### 5.1.7 Расчет затрат на электроэнергию

Данный вид расходов включает в себя затраты на электроэнергию, потраченную в ходе выполнения проекта на работу используемого оборудования, рассчитываемые по формуле:

$$C_{\text{ЭЛ.ОБ}} = P_{\text{ОБ}} \cdot t_{\text{ОБ}} \cdot C_{\text{Э}}, \quad (78)$$

где  $P_{\text{ОБ}}$  – мощность, потребляемая оборудованием, кВт;

$C_{\text{Э}}$  – тариф на 1 кВт·час;

$t_{\text{ОБ}}$  – время работы оборудования, час.

Для ТПУ  $C_{\text{Э}} = 5,748$  руб./кВт·час (с НДС).

Время работы оборудования вычисляется на основе итоговых данных таблицы 2 для инженера ( $T_{РД}$ ) из расчета, что продолжительность рабочего дня равна 8 часов.

$$t_{ОБ} = T_{РД} \cdot K_t = 63 \cdot 8 \cdot 0,6 = 302,4, \quad (79)$$

где  $K_t \leq 1$  – коэффициент использования оборудования по времени, равный отношению времени его работы в процессе выполнения проекта к  $T_{РД}$ , определяется исполнителем самостоятельно.

В ряде случаев возможно определение  $t_{ОБ}$  путем прямого учета, особенно при ограниченном использовании соответствующего оборудования.

Мощность, потребляемая оборудованием, определяется по формуле:

$$P_{ОБ} = P_{НОМ} \cdot K_C, \quad (80)$$

Где  $P_{НОМ}$  – номинальная мощность оборудования, кВт;

$K_C \leq 1$  – коэффициент загрузки, зависящий от средней степени использования номинальной мощности.

Для технологического оборудования малой мощности  $K_C = 1$ .

Расчет затрат на электроэнергию для технологических целей приведен в таблице 7.

Таблица 7 – Затраты на электроэнергию технологическую

Наименование оборудования	Время работы оборудования $t_{ОБ}$ , час	Потребляемая мощность $P_{ОБ}$ , кВт	Затраты $C_{ЭЛ.ОБ}$ , руб.
Персональный компьютер	302,4	0,3	521,46
Струйный принтер	2	0,1	1,15
Итого:			522,61

### 5.1.8 Расчет амортизационных расходов

В данной статье представлен расчёт амортизации используемого оборудования за время выполнения проекта по следующей формуле:

$$C_{AM} = \frac{H_A \cdot t_{OB} \cdot C_{OB} \cdot n}{F_D}, \quad (81)$$

где  $H_A$  – годовая норма амортизации единицы оборудования;

$C_{OB}$  – балансовая стоимость единицы оборудования с учетом ТЗР;

$F_D$  – действительный годовой фонд времени работы соответствующего оборудования, берется из специальных справочников или фактического режима его использования в текущем календарном году;

$t_{OB}$  – фактическое время работы оборудования в ходе выполнения проекта, учитывается исполнителем проекта;

$n$  – число задействованных однотипных единиц оборудования.

Например, для ПК в 2019 г., при 298 рабочих днях и 8-ми часовом рабочем дне,  $F_D$  равен:

$$F_D = 298 \cdot 8 = 2384.$$

При использовании нескольких типов оборудования расчет по формуле делается соответствующее число раз, затем результаты суммируются.

$H_A$  определяется как величина обратная  $CA$ , в данном случае это:

$$H_A = \frac{1}{2,5} = 0,4.$$

Зная значения всех коэффициентов, можно рассчитать:

$$C_{AM} = \frac{0,4 \cdot 302,5 \cdot 60000 \cdot 1}{2384} = 3044,3.$$

### 5.1.9 Расчет прочих расходов

В статье «Прочие расходы» отражены расходы на выполнение проекта, которые не учтены в предыдущих статьях, их следует принять равными 10% от суммы всех предыдущих расходов:

$$C_{ПРОЧ} = (C_{МАТ} + C_{ЗП} + C_{СОЦ} + C_{ЭЛ.ОБ} + C_{AM}) \cdot 0,1. \quad (82)$$

Прочие расходы в нашем случае:

$$C_{ПРОЧ} = (1890 + 122859,22 + 36857,77 + 522,61 + 3044,3) \cdot 0,1 = 16517,39$$

### 5.1.10 Расчет общей себестоимости разработки

Проведя расчет по всем статьям сметы затрат на разработку, можно определить общую себестоимость проекта «Моделирование реакции некогерентного фоторождения нейтральных пионов на дейтронах в кинематической области эксперимента на установке ДЕЙТРОН», представленную в таблице 8.

Таблица 8 – Смета затрат на разработку проекта

Статья затрат	Условное обозначение	Сумма, руб.
Материалы и покупные изделия	$C_{\text{МАТ}}$	1890,00
Основная заработная плата	$C_{\text{ЗП}}$	122859,22
Отчисления в социальные фонды	$C_{\text{СОЦ}}$	36857,77
Расходы на электроэнергию	$C_{\text{ЭЛ.ОБ}}$	522,61
Амортизационные отчисления	$C_{\text{АМ}}$	3044,3
Прочие расходы	$C_{\text{ПРОЧ}}$	16517,39
Итого:		181691,29

Таким образом, затраты на разработку составили  $C = 181691,29$  руб.

### 5.1.11 Расчет прибыли

Ввиду отсутствия данных, прибыль  $G$  рассчитана как 20 % от полной себестоимости проекта:

$$G = C \cdot 0,2 = 36338,26. \quad (83)$$

### 5.1.12 Расчет НДС

НДС составляет 20% от суммы затрат на разработку и прибыли:

$$\begin{aligned} \text{НДС} &= (C + G) \cdot 0,2 = 36338,26, \\ \text{НДС} &= (181691,29 + 36338,26) \cdot 0,2 = 43605,91. \end{aligned} \quad (84)$$

### 5.1.13 Цена разработки ВКР

Цена равна сумме полной себестоимости, прибыли и НДС:

$$\begin{aligned} C_{\text{НИР}} &= C + G + \text{НДС}, \\ C_{\text{НИР}} &= 181691,29 + 36338,26 + 43605,91 = 261635,46. \end{aligned} \quad (85)$$

#### **5.1.14 Оценка экономической эффективности проекта**

Оценка экономической эффективности некорректна ввиду чисто научного характера работы.

## **6 Социальная ответственность**

### **Введение**

В современных условиях одним из основных направлений коренного улучшения всей профилактической работы по снижению производственного травматизма и профессиональной заболеваемости является повсеместное внедрение комплексной системы управления охраной труда, то есть путем объединения разрозненных мероприятий в единую систему целенаправленных действий на всех уровнях и стадиях производственного процесса. Организационные мероприятия по охране труда должны быть основаны на административных, и правоохранительных мерах по предотвращению воздействия на человека вредных и опасных факторов производственной среды. При любых производственных условиях на рабочем месте всегда могут существовать разные опасные и вредные факторы. На человека, работа которого связана с моделированием на компьютере, воздействуют следующие вредные факторы: микроклимат, производственный шум, электромагнитное поле низкой частоты, вибрация, излучение, освещенность.

Работа проводилась в школе общей физики в физико-техническом институте томского политехнического университета. Для выполнения квалификационной работы на тему «Моделирование реакции некогерентного фоторождения нейтральных пионов на дейтронах в кинематической области эксперимента на установке ДЕЙТРОН» проводилась подготовка рабочего стола, настройка компьютера и установка всех необходимых программ. Для разработки комплекса мероприятий технического, организационного, режимного и правового характера, минимизирующих негативные последствия проектируемой деятельности, особое внимание было уделено безопасности и гигиене труда при работе с компьютером.

## **6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

### **6.1.1 Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства**

В соответствии с трудовым законодательством продолжительность рабочего времени не превышало 40 часов в неделю, что означает продолжительность работы за один день составляла чуть больше 6ти часов. На основании статьи 108 ТК РФ исполнителям проекта был представлен перерыв для отдыха и питания. Время на перерыв выбиралось исполнителями самостоятельно, однако его диапазон был регламентирован от 30 минут до 2 часов. Время перерыва в рабочее время не включается [25].

Большую часть времени работа выполнялась сидя. Конструкция рабочего места и взаимное расположение всех элементов соответствовала антропометрическим, физиологическим и психологическим требованиям, а также характеру работы. Таким образом, обеспечивалось оптимальное положение работника в соответствии с ТК РФ ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ [26].

Основная работа производилась с помощью персонального компьютера. Так как компьютер представляет собой совокупность приборов: процессор, экран (дисплей), клавиатура и компьютерная мышь. На протяжении всей работы выполнялись требования, регламентированные ГОСТ Р 50923-96 [28]. В соответствии с Федеральным законом "О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения" от 30 марта 1999 года N 52-ФЗ в процессе эксплуатации ПК соблюдались санитарные правила, оговорённые в [29].

### **6.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя**

Рабочее место – это часть рабочей зоны, где постоянно или временно пребывает работник в процессе трудовой деятельности. Оно должно, прежде всего, обеспечивать возможность удобного выполнения работ, учитывая её физическую тяжесть и технологические особенности, а также включать в себя пространство, необходимое для передвижения в ней работающего.

Невыполнение этих требований может привести к получению работником производственной травмы или развития у него профессионального заболевания. Рабочее место при выполнении работ в положении сидя должно соответствовать требованиям [26].

В этом разделе рассмотрены различные аспекты вопросов, тесно связанных с созданием рабочего места в полном соответствии с существующими нормами техники производственной безопасности, нормами санитарии и требованиями по охране окружающей среды [27, 28, 29].

Рациональная планировка рабочего места предусматривает четкий порядок и постоянство размещения предметов, средств труда и документации. То, что требуется для выполнения работ чаще, должно располагаться в зоне легкой досягаемости рабочего пространства, как показано на рисунке 4.

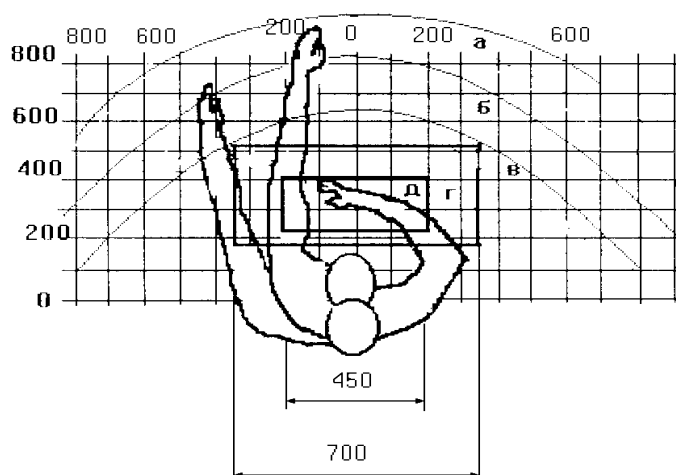


Рисунок 4 – Зоны досягаемости рук в горизонтальной плоскости: а – зона максимальной досягаемости рук; б – зона досягаемости пальцев при вытянутой руке; в – зона легкой досягаемости ладони; г – оптимальное пространство для грубой ручной работы; д – оптимальное пространство для тонкой ручной работы



Оптимальное размещение предметов труда и документации в зонах досягаемости рук:

- дисплей размещается в зоне а (в центре);
  - клавиатура – в зоне г/д;
  - системный блок размещается в зоне б (слева);
  - принтер находится в зоне а (справа);
  - документация: в зоне в (слева), легкой досягаемости ладони
- находится литература и документация, необходимая при работе; в выдвижных ящиках стола – литература, не используемая постоянно.

При проектировании письменного стола должны быть учтены следующие требования.

Высота рабочей поверхности стола рекомендуется в пределах 680 - 800 мм. Высота рабочей поверхности, на которую устанавливается клавиатура, должна быть 650 мм. Рабочий стол должен быть шириной не менее 700 мм и длиной не менее 1400 мм. Должно иметься пространство для ног высотой не менее 600 мм, шириной не менее 500 мм, глубиной на уровне колен не менее 450 мм и на уровне вытянутых ног не менее 650 мм.

Рабочее кресло должно быть подъёмно-поворотным и регулируемым по высоте и углам наклона сиденья и спинки, а также расстоянию спинки до переднего края сиденья. Рекомендуется высота сиденья над уровнем пола 420 – 550 мм. Конструкция рабочего кресла должна обеспечивать: ширину и глубину поверхности сиденья не менее 400 мм; поверхность сиденья с заглублённым передним краем.

Монитор должен быть расположен на уровне глаз студента на расстоянии 500 – 600 мм. Согласно нормам, угол наблюдения в горизонтальной плоскости должен быть не более 45° к нормали экрана. Лучше если угол обзора будет составлять 30°. Кроме того должна быть возможность выбирать уровень контрастности и яркости изображения на экране.

Должна предусматриваться возможность регулирования экрана:

- по высоте +3 см;

- по наклону от 10 до 20 градусов относительно вертикали;
- в левом и правом направлениях.

Клавиатуру следует располагать на поверхности стола на расстоянии 100 – 300 мм от края. Нормальным положением клавиатуры является её размещение на уровне локтя оператора с углом наклона к горизонтальной плоскости 15°. Более удобно работать с клавишами, имеющими вогнутую поверхность, четырёхугольную форму с закруглёнными углами. Конструкция клавиши должна обеспечивать оператору ощущение щелчка. Цвет клавиш должен контрастировать с цветом панели.

При однообразной умственной работе, требующей значительного нервного напряжения и большого сосредоточения, рекомендуется выбирать неяркие, малоконтрастные цветочные оттенки, которые не рассеивают внимание (малонасыщенные оттенки холодного зеленого или голубого цветов). При работе, требующей интенсивной умственной или физической напряженности, рекомендуются оттенки тёплых тонов, которые возбуждают активность человека.

## 6.2 Профессиональная социальная безопасность

Для идентификации потенциальных факторов был использован ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» [30]. Перечень опасных и вредных факторов, характерных для проектируемой производственной среды представлены в таблице 9.

Таблица 9 - Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разрабо тка	Изготов ление	Эксплуа тация	
1.Отклонение показателей микроклимата	-	-	+	Требования к микроклимату устанавливаются согласно СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к

				микроклимату производственных помещений [7].
2. Превышение уровня шума		-	+	Требования к уровню шума на рабочих местах и производственной вибрации устанавливаются согласно СН 2.2.4/2.1.8.562–96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки [8] и СН 2.2.4/2.1.8.566–96. Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий [9].
3.Отсутствие или недостаток естественного света	-	-	-	-
4.Недостаточная освещенность рабочей зоны		-	+	Требования к освещению устанавливаются СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*[10].
5.Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	-	-	+	Система стандартов по электромагнитной безопасности складывается из ГОСТ 12.1.006-84 ССБТ. Электромагнитные поля радиочастот. Общие требования безопасности. [11] и СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы» [12].

### 6.2.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов

Производственные условия на рабочем месте характеризуются наличием опасных и вредных факторов, которые классифицируются по группам элементов: физические, химические, биологические, психофизиологические. Основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы представлены в таблице 10.

Таблица 10 – Основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы

Наименование видов работ и параметров производственного процесса	Факторы ГОСТ 12.03.003-74 ССБТ		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Работа на ПЭВМ, Отделение ЯТЦ НИ ТПУ	—	Электрический ток	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность [37].
	Воздействие радиации (ВЧ, УВЧ, СВЧ и так далее)	—	СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. «Гигиенические требования к ПЭВМ и организации работы» [38].
	—	Пожарная безопасность	ГОСТ 12.1.004-91. Пожарная безопасность. Общие требования [39].

На студента, работающего на компьютере, воздействуют следующие факторы:

- физические: температура и влажность воздуха; шум; статическое электричество; электромагнитное поле низкой частоты; освещённость; наличие излучения;
- психофизиологические.

Психофизиологические опасные и вредные производственные факторы, делятся на: физические перегрузки (статические, динамические) и нервно-психические перегрузки (умственное перенапряжение, монотонность труда, эмоциональные перегрузки).

### **6.3 Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней опасного и вредного воздействия и устранению их влияния при работе на ПЭВМ**

#### **6.3.1 Организационные мероприятия**

Весь персонал обязан знать и строго соблюдать правила техники безопасности. Обучение персонала технике безопасности и производственной санитарии состоит из вводного инструктажа и инструктажа непосредственно на рабочем месте ответственным лицом.

Проверка знаний правил техники безопасности проводится квалификационной комиссией или лицом ответственным за рабочее место после обучения на рабочем месте. После чего сотруднику присваивается соответствующая его знаниям и опыту работы квалификационная группа по технике безопасности и выдается удостоверение специального образца.

Лица, обслуживающие электроустановки не должны иметь увечий и болезней, мешающих производственной работе. Состояние здоровья устанавливается медицинским освидетельствованием перед устройством на работу.

#### **6.4 Условия безопасной работы**

Основные параметры, характеризующие условия труда – это микроклимат, шум, вибрация, электромагнитное поле, излучение, освещённость.

Воздух рабочей зоны (микроклимат) производственных помещений определяют следующие параметры: температура, относительная влажность, скорость движения воздуха. Оптимальные и допустимые значения характеристик микроклимата устанавливаются в соответствии с [38], приведены в таблице 11.

Таблица 11 – Оптимальные и допустимые параметры микроклимата

Период года	Температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный и переходный	23 - 25	40 - 60	0,1
Теплый	23 - 25	40	0,1

К мероприятиям по оздоровлению воздушной среды в производственном помещении относятся: правильная организация вентиляции и кондиционирования воздуха, отопление помещений. Вентиляция может осуществляться естественным и механическим путём. В помещение должны подаваться следующие объёмы наружного воздуха: при объёме помещения до  $20 \text{ м}^3$  на человека – не менее  $30 \text{ м}^3$  в час на человека; при объёме помещения более  $40 \text{ м}^3$  на человека и отсутствии выделения вредных веществ допускается естественная вентиляция.

Система отопления должна обеспечивать достаточное, постоянное и равномерное нагревание воздуха. В помещениях с повышенными требованиями к чистоте воздуха должно использоваться водяное отопление. Параметры микроклимата в используемой лаборатории регулируются системой центрального отопления, и имеют следующие значения: влажность – 40%, скорость движения воздуха – 0,1 м/с, температура летом – 20 - 25°C, зимой – 13-15 °C. В лаборатории осуществляется естественная вентиляция. Воздух поступает и удаляется через щели, окна, двери. Основной недостаток такой вентиляции в том, что приточный воздух поступает в помещение без предварительной очистки и нагревания.

Шум и вибрация ухудшают условия труда, оказывают вредное воздействие на организм человека, а именно, на органы слуха и на весь организм через центральную нервную систему. В результате этого ослабляется внимание, ухудшается память, снижается реакция, увеличивается число ошибок при работе. Шум может создаваться работающим оборудованием, установками кондиционирования воздуха, осветительными приборами дневного света, а также проникать извне. При выполнении работы на ПЭВМ уровень шума на рабочем месте не должен превышать 50 дБ.

При работе с компьютером использовался монитор, дисплей модуль которого изготовлен из жидкокристаллической матрицы.

Экран и системные блоки ПЭВМ производят электромагнитное излучение. Основная его часть происходит от системного блока и видео-кабеля.

Согласно [37] напряженность электромагнитного поля на расстоянии 50 см вокруг экрана по электрической составляющей должна быть не более:

- в диапазоне частот 5 Гц - 2 кГц – 25 В/м;
- в диапазоне частот 2 кГц - 400 кГц – 2,5 В/м.

Плотность магнитного потока должна быть не более:

- в диапазоне частот 5 Гц - 2 кГц – 250 нТл;
- в диапазоне частот 2 кГц - 400 кГц – 25 нТл.

Существуют следующие способы защиты от ЭМП:

- увеличение расстояния от источника (экран должен находиться на расстоянии не менее 50 см от пользователя);
- применение приэкранных фильтров, специальных экранов и других средств индивидуальной защиты.

Утомляемость органов зрения может быть связана как с недостаточной освещенностью, так и с чрезмерной освещенностью, а также с неправильным направлением света.

#### **6.4.1 Электробезопасность**

В зависимости от условий в помещении опасность поражения человека электрическим током увеличивается или уменьшается. Не следует работать с ЭВМ в условиях повышенной влажности (относительная влажность воздуха длительно превышает 75 %), высокой температуры (более 35 °С), наличии токопроводящей пыли, токопроводящих полов и возможности одновременного прикосновения к имеющим соединение с землей металлическим элементам и металлическим корпусом электрооборудования. Оператор ЭВМ работает с электроприборами: компьютером (дисплей, системный блок и т.д.) и периферийными устройствами. Существует опасность поражения электрическим током в следующих случаях:

- при непосредственном прикосновении к токоведущим частям во время ремонта ЭВМ;

- при прикосновении к нетоковедущим частям, оказавшимся под напряжением (в случае нарушения изоляции токоведущих частей ЭВМ);
- при прикосновении с полом, стенами, оказавшимися под напряжением;
- при коротком замыкании в высоковольтных блоках: блоке питания и блоке дисплейной развёртки.

Мероприятия по обеспечению электробезопасности электроустановок:

- отключение напряжения с токоведущих частей, на которых или вблизи которых будет проводиться работа, и принятие мер по обеспечению невозможности подачи напряжения к месту работы;
- вывешивание плакатов, указывающих место работы;
- заземление корпусов всех установок через нулевой провод;
- покрытие металлических поверхностей инструментов надежной изоляцией;
- недоступность токоведущих частей аппаратуры (заклучение в корпуса электропоражающих элементов, токоведущих частей).

#### **6.4.2 Пожарная и взрывная безопасность**

Согласно [39], в зависимости от характеристики используемых в производстве веществ и их количества, по пожарной и взрывной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, В, Г, Д. Так как помещение по степени пожаровзрывоопасности относится к категории В, т.е. к помещениям с твердыми сгорающими веществами, необходимо предусмотреть ряд профилактических мероприятий.

Возможные причины загорания:

- неисправность токоведущих частей установок;
- работа с открытой электроаппаратурой;
- короткие замыкания в блоке питания;
- несоблюдение правил пожарной безопасности;



- наличие горючих компонентов: документы, двери, столы, изоляция кабелей и т.п.

Мероприятия по пожарной профилактике подразделяются на: организационные, технические, эксплуатационные и режимные.

Организационные мероприятия предусматривают правильную эксплуатацию оборудования, правильное содержание зданий и территорий, противопожарный инструктаж рабочих и служащих, обучение производственного персонала правилам противопожарной безопасности, издание инструкций, плакатов, наличие плана эвакуации.

К техническим мероприятиям относятся: соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения, правильное размещение оборудования.

К режимным мероприятиям относятся, установление правил организации работ, и соблюдение противопожарных мер. Для предупреждения возникновения пожара от коротких замыканий, перегрузок и т.д., необходимо соблюдение следующих правил пожарной безопасности:

- исключение образования горючей среды (герметизация оборудования, контроль воздушной среды, рабочая и аварийная вентиляция);
- применение при строительстве и отделке зданий негорючих или трудно сгораемых материалов;
- правильная эксплуатация оборудования (правильное включение оборудования в сеть электрического питания, контроль нагрева оборудования);
- правильное содержание зданий и территорий (исключение образования источника воспламенения – предупреждение самовозгорания веществ, ограничение огневых работ);
- обучение производственного персонала правилам противопожарной безопасности;
- издание инструкций, плакатов, наличие плана эвакуации;

- соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения;
- правильное размещение оборудования;
- своевременный профилактический осмотр, ремонт и испытание оборудования.

При возникновении аварийной ситуации необходимо:

- сообщить руководству (дежурному);
- позвонить в аварийную службу или МЧС – тел. 112;
- принять меры по ликвидации аварии в соответствии с инструкцией.

#### **6.4.3 Экологическая безопасность**

Сегодня во всем мире присутствуют проблемы рационального использования природных ресурсов, проблемы охраны окружающей среды. При этом особое внимание уделяется организации воздействия вредных факторов на природу.

Большинство сырья, используемого в сборке компьютеров, является токсичным. Ископаемое топливо лишь усугубляет нерешенную проблему глобального потепления. Отходы производства также не исчезают, превращаясь в свалки, или перерабатываются, оказывая плохое влияние на экологию, а именно, на литосферу.

При выполнении работы на персональных компьютерах, некоторые из частей компьютера могут прийти в негодность или устареть, тогда необходимо их утилизировать. В качестве отходов в результате деятельности программирования может выступать бумага, отходы электроники, ртутьсодержащие лампы. Эти твердые бытовые отходы загрязняют окружающую среду и их необходимо перерабатывать, чтобы максимально снизить их вредное воздействие. Для складирования мусора перед утилизацией предлагается вывоз на территории, предназначенные для этого. Также, существует вариант нахождения способа вторичного использования

оборудования. Утилизация электроники производится специальными компаниями и является обязательной, в особенности утилизация ртутьсодержащих ламп. Отработанные ртутьсодержащие лампы подлежат проведению демеркуризации.

При работе на ПЭВМ часто используется бумага, которая производится из лесосырьевых ресурсов. Предприятия лесопромышленного комплекса представляют собой значительный источник загрязнения атмосферного воздуха. Наиболее характерными загрязняющими веществами являются оксид углерода, диоксид серы и т.д. Поэтому необходимо правильно и малозатратно использовать бумагу с целью уменьшения загрязнения среды.

Также компьютеры влияют на гидросферу, так как в их производстве используется вода. Ученые утверждают, что общий вес различных химикатов, используемых при создании одного компьютера, в десятки раз превышает вес самого компьютера. Например: для производства компьютера с монитором весом в 24 кг необходимо: 240 кг топлива; 22 кг химикатов; 1,5 т воды. Применение топлива усиливает процесс глобального потепления. А химикаты ставят под угрозу здоровье сотрудников фабрик, а также поражают питьевые водоемы вокруг свалок.

## **6.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

В процессе работы на персональном компьютере единственной чрезвычайной ситуацией, которую создаёт компьютер, может стать пожар. Пожар в течении работы персонального компьютера может возникнуть в результате замыкания электропроводки, приводящее к возгоранию аппаратуры. Далее огонь может распространиться на другие объекты рабочего помещения, создавая техногенную чрезвычайную ситуацию.

Федеральный закон [40] устанавливает основные принципы обеспечения пожарной безопасности. Для предупреждения возникновения пожаров необходимо прежде всего следовать технике безопасности пользования

персональным компьютером. Приведенный технический регламент предусматривает предотвращение пожаров путем исключения условий образования горючей среды (статья 49) и исключений условий образования в горючей среде источников зажигания (статья 50).

Исключение условий образования горючей среды в сложившихся рабочих условиях включает в себя: применение минимального количества горючих веществ и материалов и наиболее безопасного их размещения, изоляция источников зажигания от горючих веществ, понижение концентрации окислителя в горючей среде в защищаемом объеме, удаление из помещений пожароопасных отходов производства, отложений пыли и пуха. Исключение источников зажигания достигается путем применения оборудования, исключающих образование статического электричества, устройство молниезащиты зданий, сооружений и оборудования, применение устройств, исключающих возможность распространения пламени из одного объема в смежный.

При возникновении пожара необходимо обеспечить технические и организационные мероприятия по оповещению, эвакуации людей, тушению 75 пожара. При обнаружении пожара необходимо оповестить пожарную службу посредством пожарной сигнализации и провести эвакуацию через эвакуационные пути и выходы. Ликвидация последствий пожара обеспечивается автоматическими установками пожаротушения и пожарными службами.

На рисунке 5 представлен план эвакуации из рабочей зоны, находящейся в 329 кабинете 11 корпуса ТПУ.

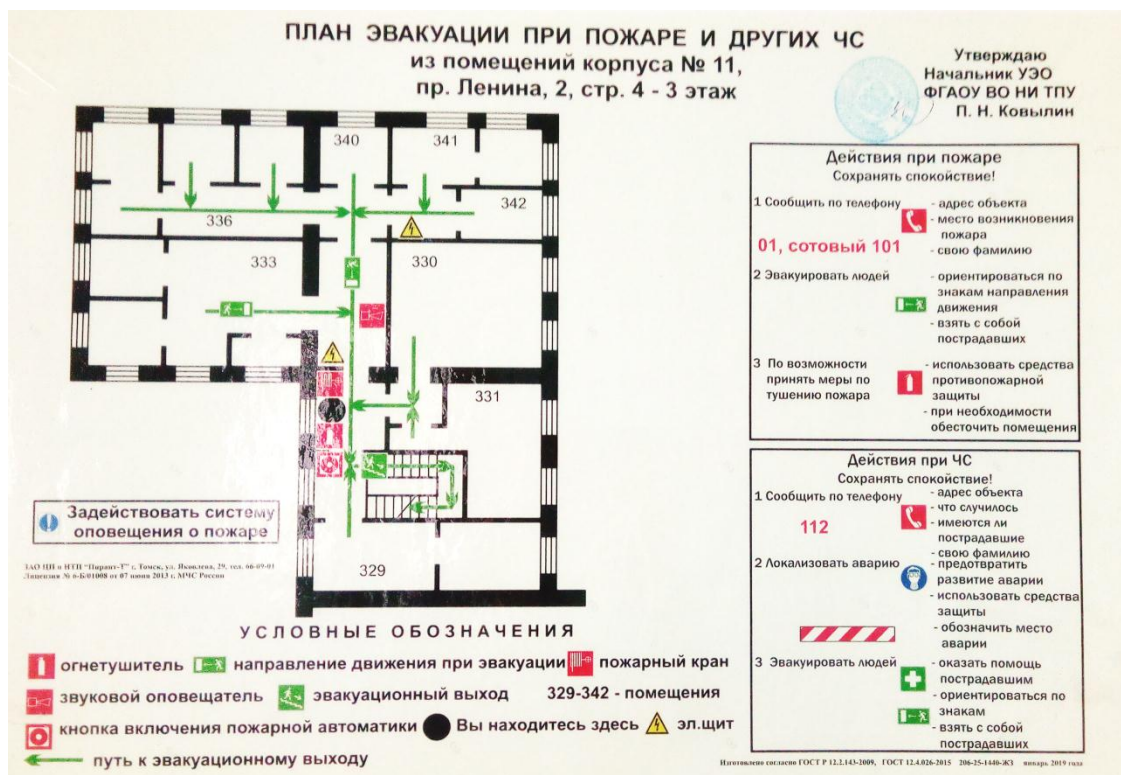


Рисунок 5 – План эвакуации

## Выводы

В данном разделе были рассмотрены необходимые правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности, в которых регламентируются условия труда, необходимые инструкции по работе со специальным оборудованием, а также гигиенические требования к организации работы.

Были проанализированы и выявлены опасные и вредные факторы производственной среды. К вредным факторам можно отнести: микроклимат, воздействие шума и высоких электромагнитных полей, вибрация. К опасным фактором можно отнести: электрический ток и пожарная безопасность

Рассмотрены различные аспекты вопросов, тесно связанных с созданием рабочего места. Описаны правила обустройства рабочей зоны для удовлетворительной работы в ней.

Также были рассмотрены различные чрезвычайные ситуации при выполнении работы на компьютере и поведение в них.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проделанной работы был создан программный код для разыгрывания событий реакций  $ed \rightarrow e'pn\pi^0$  и  $ed \rightarrow e'pn$  методом Монте-Карло. В результате моделирования были учтены погрешности измерения энергии и углов вылета протонов и нейтронов.

С помощью выполненного моделирования был найден критерий идентификации, позволяющий выделить события реакции  $\gamma d \rightarrow pn\pi^0$  из зарегистрированных  $pn$ -совпадений.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Климов А. Н. Ядерная физика и ядерные реакторы: Учебное пособие. – Атомиздат, 1971.
2. Абрамов А. И. История ядерной физики. – М : URSS, 2006.
3. Николенко Д. М. и др. Эксперименты с внутренними мишенями на накопителе электронов ВЭПП-3 //Ядерная физика. – 2010. – Т. 73. – №. 8. – С. 1365-1381.
4. Ахиезер А. И., Рекало М. П. Биография элементарных частиц. – Наукова думка, 1983.
5. Газиорович С. Физика элементарных частиц: Пер. с англ. – Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1969.
6. Mishnev S. I. et al. Measurement of the analyzing power components in photodisintegration of the polarized deuteron //Physics Letters B. – 1993. – Т. 302. – №. 1. – С. 23-28.
7. Loginov A. Y. et al. Investigation of the reaction  $D(e, pp)e'\pi^-$  on a tensorpolarized deuterium target at high proton momenta //Journal of Experimental and Theoretical Physics Letters. – 1998. – Т. 67. – №. 10. – С. 770-776.
8. Гаузштейн В. В. и др. Изменение анализирующей способности реакции фоторождения отрицательных пионов в облатси  $\Delta(1232)$ -резонанса //Известия высших учебных заведений. Физика. – 2014. – Т. 57. – №. 9. – С. 36-40.
9. Гаузштейн В. В. и др. Экспериментальное исследование компонент тензорной анализирующей способности реакции  $\gamma d \rightarrow p p \pi$  //Известия высших учебных заведений. Физика. – 2016. – Т. 59. – №. 6. – С. 100-105.
10. Гаузштейн В. В., Логинов А. Ю., Дусаев Р. Р. Измерение компонент тензорной анализирующей способности реакции фоторождения при минус мезона на дейтроне при больших импульсах протонов //Перспективы развития фундаментальных наук: сборник научных трудов XII Международной

конференция студентов и молодых ученых, г. Томск, 21-24 апреля 2015 г.—  
Томск, 2015. – 2015. – С. 88-90.

11. Зеваков С. А. и др. Измерение компоненты тензорной анализирующей способности  $T_{20}$  когерентного фоторождения нейтрального пиона на тензорно-поляризованном дейтроне на накопителе ВЭПП-3 //Известия Российской академии наук. Серия физическая. – 2015. – Т. 79. – №. 7. – С. 958-958.

12. Rachek I. A. et al. Measurement of tensor analyzing powers in deuteron photodisintegration //Physical review letters. – 2007. – Т. 98. – №. 18. – С. 182303.

13. Капитонов И. М. Ядерная резонансная флуоресценция //Ядерная физика в Интернете <http://nuclphys.sinp.msu.ru/nrf/index.html>.

14. Curtis R. B. Meson Production by Electrons //Physical Review. – 1956. – Т. 104. – №. 1. – С. 211.

15. Dalitz R. H., Yennie D. R. Pion production in electron-proton collisions //Physical Review. – 1957. – Т. 105. – №. 5. – С. 1598.

16. Pomeranchuk I. Y., Shumushkevich I. M. On processes in the interaction of  $\gamma$ -quanta with unstable particles //Nuclear Physics. – 1961. – Т. 23. – С. 452-467.

17. Gribov V. N. Partial waves with complex orbital angular momenta and the asymptotic behavior of the scattering amplitude //Sov. Phys. JETP. – 1962. – Т. 14. – С. 1395.

18. Budnev V. M. et al. The two-photon particle production mechanism. Physical problems. Applications. Equivalent photon approximation //Physics Reports. – 1975. – Т. 15. – №. 4. – С. 181-282.

19. Рачек И. А. Экспериментальное изучение фотодезинтеграции тензорно-поляризованного дейтрона //ИЯФ СО РАН. – 2008.

20. Группен К. Детекторы элементарных частиц. – Новосибирск : Сиб. хронограф, 1999.

21. Копылов, Г. И. Основы кинематики резонансов / Г. И. Копылов – М.: Наука, 1970. – 488 с.



22. Павловская, Т. А. С/С++. Программирование на языке высокого уровня / Т. А. Павловская. – СПб.: Питер, 2013. – 460 с.
23. Шульмин В. А. Экономическое обоснование в дипломных проектах: учебное пособие для вузов / В. А. Шульмин, Т. С. Усынина. – Старый Оскол: ТНТ, 2012. – 192 с.
24. Кнышова Е. Н. Экономика организации: учебник / Е. Н. Кнышова, Е. Е. Панфилова. – Москва: Форум Инфра-М, 2012. – 334 с.: ил. – Профессиональное образование.
25. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 01.04.2019).
26. ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.
27. ГОСТ 22269-76. Система «человек-машина». Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования.
28. ГОСТ Р 50923-96. Дисплеи. Рабочее место оператора. Общие эргономические требования и требования к производственной среде. Методы измерения.
29. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы.
30. ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
31. СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
32. СН 2.2.4/2.1.8.562–96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки.
33. СН 2.2.4/2.1.8.566–96. Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий.
34. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95.

35. ГОСТ 12.1.006-84 ССБТ. Электромагнитные поля радиочастот. Общие требования безопасности.
36. СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы».
37. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.
38. СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы».
39. ГОСТ 12.1.004-91. Пожарная безопасность. Общие требования.
40. Федеральный закон от 22.07.2013 г. №123 – ФЗ, Технический регламент о требованиях пожарной безопасности.